

Z 802

lesesal

Berichte  
aus dem  
Institut für Meereskunde  
an der  
Christian-Albrechts-Universität Kiel  
Nr 84  
1981



DIE BESTIMMUNG DER DYNAMISCHEN  
TOPOGRAPHIE AUS TEMPERATURDATEN  
AUS DEM NORDOSTATLANTIK

Dynamic topography computations  
from temperature in the  
Northeast Atlantic

von  
Lothar Stramma

DOI 10.3289 / IFM\_BER\_84

Lothar Stramma  
Institut für Meereskunde  
Abt. Meeresphysik  
Düsternbrooker Weg 20  
2300 Kiel-1

-----  
Diese Arbeit wurde 1981 als Diplomarbeit in der  
mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät der  
Christian-Albrechts-Universität Kiel eingereicht

ISSN 0341 - 8561

Inhaltsverzeichnis:

	Seite
1. Zielsetzung	1
2. Die verwendeten Daten	3
3. Die Genauigkeit der Daten	6
4. Übersicht über vorhandene Untersuchungsergebnisse	7
5. Allgemeine topographische und hydrographische Situation	9
6. Datenbearbeitung	12
6.1 Aufteilung der Regionen	12
6.2 Mittlere geglättete TS- und PS-Kurven	15
6.3 Berechnung der dynamischen Topographie	22
6.4 Fehlergröße bei Berechnung der dynamischen Topographie	23
7. Mittlere Dichte-Tiefe-Beziehung der oberen 400 Meter	24
8. Unterschiede für Tiefenbereiche und Regionen	28
8.1 Bereich: 0 bis 500 db	30
8.2 Bereich: 0 bis 1000 db	36
8.3 Bereich: 0 bis 2000 db	41
9. Untersuchung jahreszeitlicher Einflüsse	46
10. Fehlerbereiche bei Berechnung der Dichteanomalien und der Strömung aus der Temperatur	53
11. Zusammenfassung der Ergebnisse	62

## II

### Table of contents

	page
1. Introduction	1
2. The data set	3
3. Accuracy of the data	6
4. Review of existing results	7
5. Topographic and hydrographic conditions	9
6. Data processing	12
6.1 Selection of regions	12
6.2 Averaged TS- and PS-relationships	15
6.3 Dynamic height computations	22
6.4 The error of dynamic height computations	23
7. Mean density-depth relation for the upper 400 meters	24
8. Analysis of differences occurring in various depths and regions	28
8.1 Depth range: 0 to 500 db	30
8.2 Depth range: 0 to 1000 db	36
8.3 Depth range: 0 to 2000 db	41
9. Analysis of seasonal effects	46
10. Accuracy of density and current computed from temperature	53
11. Summary of results	62

### Zusammenfassung

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, zu prüfen, ob eine Bestimmung der dynamischen Topographie im Nordostatlantik aus Temperaturdaten möglich ist. Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich von  $8^{\circ}$  N bis  $41^{\circ}$  N und von dem iberischen bzw. afrikanischen Festlandschelf bis  $35^{\circ}$  W.

Für jedes  $3 \times 3$ -Grad-Feld des Nordostatlantik wird eine mittlere TS-, PS oder P-Sigma-Kurve bestimmt. Die mit Hilfe dieser Kurven berechneten dynamischen Tiefen werden mit den wahren dynamischen Tiefen aus Dichtedaten verglichen, bei denen der Salzgehalt zusätzlich zur Temperatur zur Berechnung benutzt wurde.

Für den Bereich 0 bis 500 dbar liefern die TS-Kurven für jedes Feld des Untersuchungsgebietes gute Resultate. Im Bereich 0 bis 1000 dbar läßt sich das gesamte Gebiet, mit Ausnahme der Gegend westlich der südportugiesischen Küste und einiger Küstenstationen, nach Kombination der Ergebnisse aus den verschiedenen Näherungen mit Hilfe der gemittelten Kurven darstellen. Für den Bereich 0 bis 2000 dbar versagt der Formalismus weitgehend.

Die Ergebnisse aus einer mittleren PS-Kurve sind in der Regel schlechter als die Ergebnisse aus der TS-Kurve, die vor allem nördlich von  $23^{\circ}$  N gute Ergebnisse liefert. Die Rechnungen, bei denen für das Intervall von 80 bis 350 dbar die Dichte aus der mittleren P-Sigma-Kurve und außerhalb dieses Intervalls der Salzgehalt aus der TS-Kurve übernommen werden, liefern gute Ergebnisse südlich von  $23^{\circ}$  N. In diesem Bereich existieren große Schwankungen des Betrages und der Tiefenlage des Salzgehaltsmaximums in der Sprungschicht, die durch die mittleren TS- bzw. PS-Kurven schlecht zu beschreiben sind. Bei der Berechnung des geostrophischen Stroms aus den genäherten dynamischen Topographien tritt ein Fehler in der gleichen Größenordnung wie beim Fehler für die Rechnung mit den wahren dynamischen Topographien auf. Daraus ergibt sich, daß die Verwendung der Näherungen zur geostrophischen Strömungsberechnung sinnvoll ist.

Summary

The aim of this study is to test whether dynamic topographies can be obtained in the Eastern North Atlantic from temperature data. The area of investigation extends from  $8^{\circ}$  N to  $41^{\circ}$  N and from the African and European continental slope to  $35^{\circ}$  W.

Mean TS, PS and P-density relationships are determined for each  $3 \times 3$  degree field. Dynamic depths computed by using these relationships are being compared with the true dynamics depths computed from density data where salinity data had been used in addition to temperature data.

The TS relationship leads to a good approximation for the 0 to 500 dbar range in each field investigated. Using one of the above relationships in certain depth ranges or areas, reasonable approximations can also be obtained for 0 to 1000 dbar, except for some areas west of the southern Portuguese coast and near the coasts. The approximation is poor for 0 to 2000 dbar. Usually the results won by mean PS relationships are worse than those from TS relationships, which yields particularly good data north of  $23^{\circ}$  N. Computations lead to good results south of  $23^{\circ}$  N using a P-density relationship for 80 to 350 dbar and a TS relationship at the other depth levels. In that area there exist large variations of the extreme values and depths of the tropical salinity maximum in the pycnocline which are difficult to take account of by mean TS and PS curves. Geostrophic current computations have the same order of magnitude errors when based on actual density data or on temperature data and mean relationships. It is concluded that the approximations can be used for geostrophic current computations.

## 1. Zielsetzung

In den nächsten Jahren soll der Nordostatlantik intensiv erforscht werden. Das Ziel ist eine Verbesserung der Kenntnisse der Strömungsverhältnisse sowie die Bestimmung dominierender Zeit- und Raumskalen von Schichtung und Strömung im Kanarenbecken mit dem langfristigen Ziel, den meridionalen Wärmetransport zu beschreiben. Über den Rückstrom auf der Ostseite des Nordatlantiks, der - im Gegensatz zum Golfstrom auf der Westseite - nicht als Strahlstrom auftritt, sind die Kenntnisse noch lückenhaft.

Da eine Strömungsmessung mit Hilfe von verankerten Strömungsmeßgeräten sehr zeit- und kostenintensiv ist, können solche Messungen nur an wenigen Positionen vorgenommen werden. Für die großräumigen Betrachtungen wird deshalb auf die dynamische Methode zurückgegriffen. Um die relativen Strömungskomponenten nach der dynamischen Methode zu berechnen, muß der vertikale Massenaufbau bekannt sein. Aus dem Massenaufbau läßt sich dann die relative dynamische Topographie bestimmen. Zur Berechnung des relativen Druckfeldes ist es somit erforderlich, daß Daten für den Druck, die Temperatur und den Salzgehalt vorliegen.

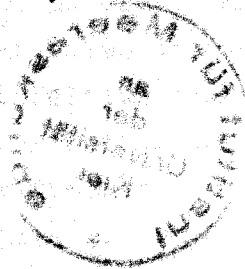
In dieser Arbeit soll die Beziehung zwischen Dichte und Temperatur-Salzgehalt für den Nordostatlantik im Gebiet vom Iberischen Becken bis zur ITCZ untersucht werden. Das Ziel ist eine Aussage über die Möglichkeit, die dynamische Topographie aus Druck und Temperatur allein zu bestimmen.

Die Anfertigung von Profilen, in denen der Salzgehalt gemessen wird, sind sehr aufwendig, so daß es Gebiete gibt, in denen nur sehr wenige Salzgehaltsinformationen verfügbar sind. Wenn die Bestimmung der dynamischen Topographie aus Temperatur- und Druckdaten allein möglich ist, so könnte man zur Bestimmung des Massenfeldes die Stationen heranziehen, auf denen nur Druck und Temperatur gemessen wurde, d.h. vor allem auch XBT-Daten. Dieses würde die Informationsmenge erheblich erweitern.

Hierzu soll eine Unterscheidung für verschiedene Regionen und für verschiedene Tiefenstufen vorgenommen werden. Die Regionen und die Tiefenstufen sollen gefunden werden, in denen die Informationen für die Temperatur ausreichen, den Salzgehalt aus einer mittleren Kurve so zu bestimmen, daß der Fehler bei der Bestimmung der dynamischen Tiefe mit diesem genäherten Salzgehalt klein bleibt. Außerdem soll untersucht werden, ob eine Aufspaltung nach Jahreszeiten für die genäherte Kurve die Abweichung zum wahren Wert gegenüber der Abweichung aus einer genäherten jährlichen Kurve verringern kann.

Wenn es möglich ist die Temperatur als Funktion des Salzgehaltes darzustellen  $T'=T(S)$ , dann läßt sich die geostrophische Strömung  $U$  als Funktion der Temperatur berechnen  $U=U(T')$ . Folglich könnte man die dynamische Topographie aus den Temperaturdaten mit der genäherten Salzgehaltskurve zur weiteren Strömungsbestimmung heranziehen.

Wie weit es möglich ist, die dynamische Topographie aus den Temperaturdaten allein zu bestimmen, soll diese Arbeit zeigen.



## 2. Die verwendeten Daten

Als Grundlage für diese Arbeit dienen die Daten des WODC (world oceanographic data center) in Washington. Daten liegen vor für das Gebiet  $8^{\circ}$  N bis  $55^{\circ}$  N und  $5^{\circ}$  W bis  $45^{\circ}$  W. In diesem Gebiet liegen 24 015 Stationen in sehr unterschiedlicher räumlicher Verteilung (Abb. 1). Die Daten konzentrieren sich im Bereich der Küsten, vor allem an der afrikanischen Küste und den europäischen Küsten sowie bei den Kanarischen Inseln, Madeira und den Azoren. Während die Datendichte nördlich von  $30^{\circ}$  N im offenen Atlantik zufriedenstellend ist, weist das Gebiet von  $8^{\circ}$  N bis  $30^{\circ}$  N größere Lücken auf, wobei die Informationsdichte um den zwanzigsten Breitengrad besonders gering ist.

Es handelt sich bei den Daten um hydrographische Stationen mit Messungen zwischen einer und 94 Tiefenstufen. Die Stationen mit nur einem Meßzyklus beschränken sich weitgehend auf das Gebiet der afrikanischen Küste. Mit Ausnahme einiger Stationen, bei denen meistens die Angaben über den Salzgehalt fehlen, liegen Daten für die Tiefe in Metern, die Temperatur in Grad Celsius und den Salzgehalt in Promille vor. Teilweise liegen zusätzlich Werte für den Sauerstoff- und den Silikatgehalt vor, die in dieser Arbeit keine Berücksichtigung finden. Datennehmer sind Schiffe der verschiedensten Nationen, wobei Schiffe der USA und der UDSSR den Hauptanteil der Daten liefern.

Gewonnen wurden die Daten im Zeitraum von 1910 bis 1972. Daraus ist zu schließen, daß die Daten mit unterschiedlichen Methoden gewonnen wurden. Über die jeweilig benutzten Meßinstrumente liegen keine Informationen vor, so daß zu erwarten ist, daß die älteren Daten mit Wasserschöpferserien gewonnen wurden, während neuere Daten teilweise von Meßsonden, wie z.B. der Bathysonde, genommen wurden. Insgesamt dürfte dies aber nur den geringeren Teil der Daten betreffen.



Fehlerhafte Messungen sind in dem Datensatz enthalten. So existieren Profile, die parallel zu denen der restlichen Stationen verlaufen, die jedoch immer um 0.3 Promille zu höheren Salzgehaltswerten verschoben sind. Einzelne Profile brechen bei größeren Tiefen aus den normalen Kurven aus. Die häufigsten Fehler in den Profilen sind Spikes, also einzelne fehlerhafte Werte in einem ansonsten normal verlaufenden Profil.

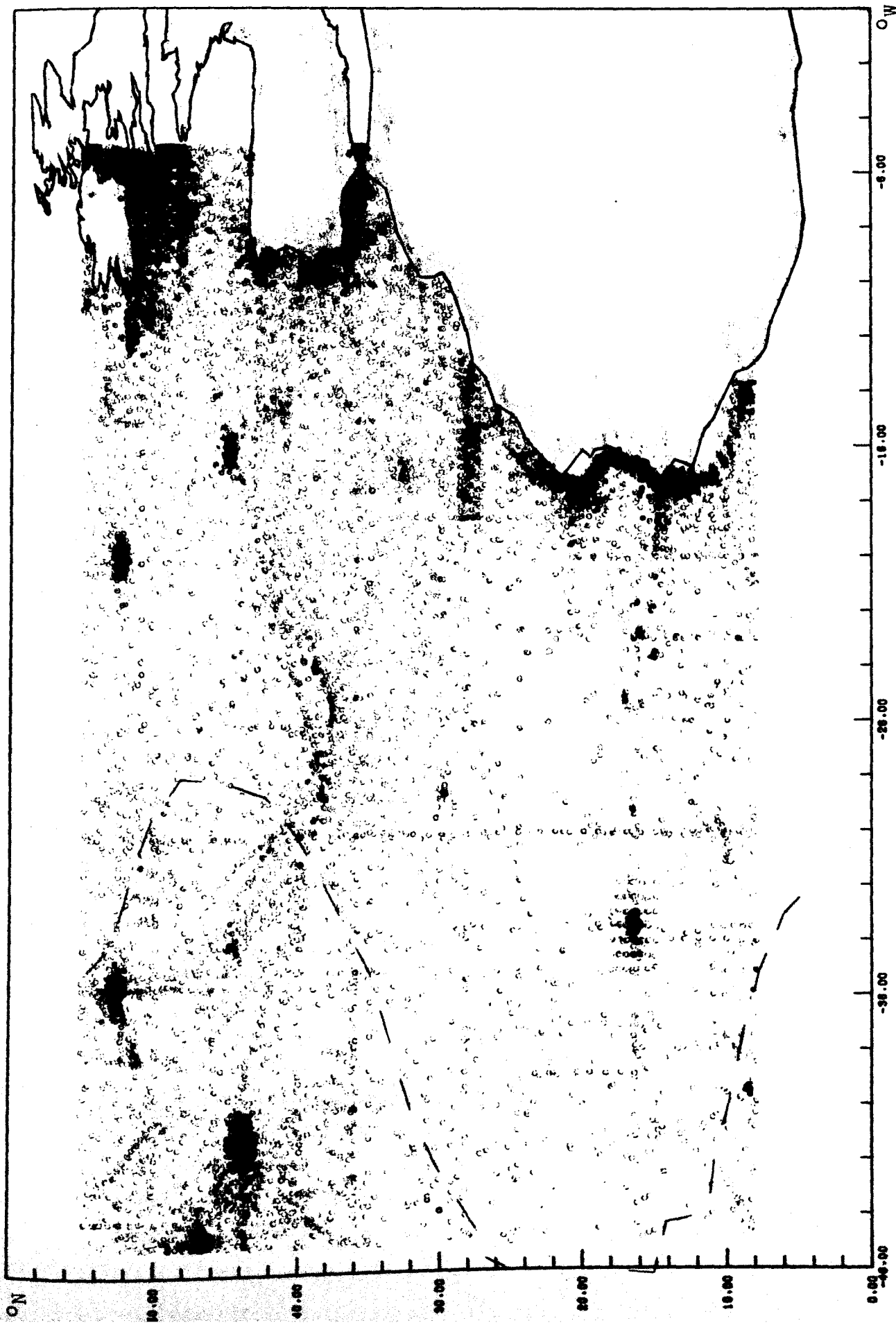


Abb. 1 Die Positionen der vorhandenen Stationen, Lage des Mittelatlantischen Rückens gestrichelt angedeutet

### 3. Die Genauigkeit der Daten

Wie in Kapitel 2 beschrieben, wurden die Daten zu verschiedenen Zeiten und nach unterschiedlichen Methoden gewonnen, so daß die Genauigkeit der Daten von diesen Bedingungen abhängig ist.

Bei Wasserschöpferserien wird die Temperatur mit Hilfe von Kippthermometern bestimmt. Diese Geräte haben bei richtiger Handhabung eine hohe Genauigkeit von  $\pm 0.01^{\circ} \text{C}$  (Dietrich et.al. 1975). Bei der Salzgehaltsbestimmung mit Hilfe der Titration wird eine Genauigkeit von  $\pm 0.02\%$  angegeben (Dietrich et.al. 1975). Eine Tiefenmessung durch die Länge des ausgefierten Drahtes ist wegen der Drahtneigung sehr ungenau. Wird eine thermometrische Tiefenmessung vorgenommen, so beträgt die Messgenauigkeit bei 5000 m Tiefe  $\pm 20 \text{ m}$  (Dietrich et.al. 1975).

Bei Messungen mit CTD-Sonden sind typische Fehler für den Druck  $\pm 20 \text{ db}$  bis 8000 m Tiefe, für die Temperatur  $\pm 0.01^{\circ} \text{C}$  und beim Salzgehalt  $\pm 0.03\%$  (Knoll, 1979). Diese Fehlergrößen sind von den Geräten abhängig, wenn diese richtig gehandhabt werden. Größere Fehler entstehen durch nicht vorschriftsmäßige Handhabung der Geräte. Ein Teil der Daten erweckt leider den Anschein, daß nicht jederzeit mit der nötigen Sorgfalt gearbeitet wurde. Eindeutig fehlerhafte Profile wurden in der Verarbeitung nicht berücksichtigt. Messungen, bei denen nur der Verdacht besteht, daß sie falsche Werte beinhalten, wurden mit in die Rechnung eingebracht. Solche Profile konnten die in die Berechnung eingehenden Fehler erheblich vergrößern.

Bei den zu erwartenden Fehlern muß man davon ausgehen, daß, bedingt durch die unterschiedlichen Zeitpunkte der Messungen, die Anwendung verschiedener Meßgeräte, die Messung durch Schiffe unterschiedlicher Nationen und die teilweise schlechte Handhabung der Geräte, die Fehlerspanne erheblich größer ist, als die für die Geräte angegebenen Idealwerte.

#### 4. Übersicht über vorhandene Untersuchungsergebnisse

Den ersten Versuch, eine mittlere TS-Beziehung aufzustellen, aus der der Salzgehalt für gemessene Temperaturwerte ablesbar ist, machte Stommel (1947). Er untersuchte die Methode für einige Positionen im Nordatlantik und fand bei Berechnungen von 0 bis 1000 db einen Fehler von 5 dyn cm, den er als zu groß ansah. In der Sargasso-See berechnete er einen Fehler, der bei nur 1.2 dyn cm lag, und Stommel kam zu dem Schluß, daß in bestimmten Regionen die Methode für grobe Berechnungen möglich sei. Als Ursachen für eine große Abweichung nennt er eine schwache Neigung der TS-Kurve, jahreszeitliche Schwankungen und Mischungseffekte.

Neben den Arbeiten von Yasui (1955, 1957), der zu ähnlichen Ergebnissen wie Stommel kam, wurden lange Zeit nur wenige Untersuchungen über diese Methode vorgenommen.

Anhand der Daten dreier Wetterschiffe im Pazifik untersuchte Emery (1975) die Methode einer mittleren TS-Kurve. Bei den Wetterschiffen Victor und November ergab dieses Verfahren gute Ergebnisse mit Abweichungen kleiner als 2 dyn cm für 0 bis 1000 db, während die Methode für das Wetterschiff Papa versagte. Ursache dafür war die hier vorhandene thermische Inversion, gekennzeichnet durch gleiche Temperatur bei verschiedenen Tiefen und verschiedenen Salzgehalten.

Nach diesem erneuten Beweis der Abhängigkeit der Methode von der räumlichen Lage des Gebietes aufgrund der hydrographischen Verhältnisse untersuchten Emery und Wert (1976) den Pazifik für 10 mal 10 Grad-Quadrate im Bereich von 20° S bis 40° N. Sie kommen zu dem Ergebnis, daß drei Viertel aller Quadrate einen Fehler von weniger als 4 dyn cm für 0 bis 500 db aufweisen. Die Regionen mit großen Fehlerwerten fallen zusammen mit Gebieten, in denen verschiedene Wassermassen zusammenstoßen.

Insbesondere mit diesen Gebieten hat sich Flierl (1978) beschäftigt. Er untersuchte Golfstromwirbel, bei denen

verschiedene Wassermassen dicht beieinander liegen. Hier liefert die Methode der mittleren TS-Kurve schlechte Ergebnisse. Flierl ging von der Annahme aus, daß die Linien konstanten Drucks in einem TS-Diagramm auf einer Kurve liegen. Die Salzgehaltswerte sind dann nicht von einer festen Temperatur  $T$  abhängig, sondern von einem Wert  $T(p_0)$  für einen festen Druckwert  $p_0$ . Für einen Satz von  $p_i$ -Werten erhält er einen Satz von  $S_{p_i}(T)$ -Werten. Den Fehler von 1.33 dyn cm für das Niveau<sup>i</sup> 200 bis 800 db konnte Flierl mit seiner Methode unter Berücksichtigung zweier Stationen, wobei eine im Ringzentrum und eine am Rand liegt, auf 0.5 dyn cm senken. Bei Verwendung von 3 Stationen liegt der Fehler nur bei 0.33 dyn cm.

Zur selben Zeit verfeinerten Emery und O'Brien (1978) die Ergebnisse für den Pazifik. Sie untersuchten den Nordpazifik von  $30^\circ$  N bis  $75^\circ$  N mit 5 mal 5 Grad-Quadranten. Neben der Methode einer mittleren TS-Beziehung für jedes Gebiet machten sie zusätzlich eine Bestimmung für eine mittlere PS-Beziehung, bei der jeder Tiefe ein mittlerer Salzgehaltswert zugeordnet wird. Sie fanden heraus, daß im zentralen Pazifik südlich von  $40^\circ$  Grad N die Methode der mittleren TS-Kurve gute Ergebnisse liefert, während die Rechnungen mit der mittleren PS-Kurve schlechtere Resultate ergaben. Nördlich von  $40^\circ$  Grad N nehmen die Fehler bei der Rechnung mit einer mittleren TS-Kurve stark zu, besonders in den Küstengebieten, während die Methode mit der mittleren PS-Kurve in vielen Gebieten gute Ergebnisse liefert. Emery und O'Brien kombinieren die Ergebnisse aus beiden Methoden so, daß immer die Methode mit den besseren Resultaten berücksichtigt wird. Damit erstellen sie aus XBT-Daten Karten für dynamische Topographien. Diese wurden mit Karten verglichen, bei denen die dynamische Topographie aus Stationen mit Salzgehalt berechnet wurden. Dieser Vergleich ergab eine gute Übereinstimmung.

## 5. Allgemeine topographische und hydrographische Situation

Dieses Kapitel enthält die Beschreibung einiger Tatsachen, die für die spätere Interpretation der Ergebnisse benötigt werden.

Als Untersuchungsgebiet wurde das Gebiet vom Iberischen Becken bis zur ITCZ gewählt. Die geographische Abgrenzung nach Süden ist der 8. Breitengrad, nach Norden der 41. Breitengrad, nach Westen der 35. Längengrad und nach Osten der Festlandsschelf bzw. der 8. Längengrad.

Das Gebiet besteht aus drei Tiefseebecken, dem Iberischen Becken im Norden, dem Kanarenbecken und dem Kapverde-Becken im Süden. Im Nordwesten des Untersuchungsgebietes liegt der Mittelatlantische Rücken mit den seitwärts angelagerten Azoren. Vor der nordwestafrikanischen Küste sind die Kanarischen Inseln vorgelagert, im Süden des Gebietes liegen die Kapverdischen Inseln auf der Kapverde-Schwelle. Im Bereich der Azorenschwelle liegen mehrere Bänke und die Insel Madeira (Dietrich, Ulrich 1968).

In der Kaltwassersphäre fällt als Besonderheit der Einschub des salzreichen und warmen Mittelmeerwassers auf. Dieses strömt über den Sattel der Gibraltarschwelle und sinkt an den Schelf gelehnt bis auf Tiefen von etwa 1000 Meter ab, wo es auf Wasser trifft, das die gleiche Dichte hat (Dietrich et.al. 1975). Auf dieser Sigma-T = 27.7-Fläche breitet es sich in zwei Vorzugsrichtungen aus, die eine ist die Nordrichtung, die zweite eine west- bis südwestliche Richtung, wobei sich mit zunehmender Entfernung die Salzgehalts- und Temperaturunterschiede zur Umgebung durch Vermischung abschwächen (Needler, Heath 1975).

In der Warmwassersphäre unterscheidet man in dem Untersuchungsgebiet mehrere Regionen. Im Nordteil des Untersuchungsgebietes liegt der südliche Teil der Westwind-driftregion mit starken, vorwiegend östlichen Strömungen. Die Oberflächentemperatur schwankt im Jahresgang um 6 bis 10 Grad Celsius. Vor der afrikanischen Küste erhält die Strömung eine südliche Richtung und geht über in die Passatstromregion mit äquatorwärts gerichteter Komponente.

Im Bereich  $10^{\circ}$  bis  $20^{\circ}$  Nord hat diese Passatstromregion Strömungen mit westlicher Ausbreitungsrichtung. Die Oberflächentemperaturen in diesem Gebiet sind sehr hoch, in Küstennähe bis  $29^{\circ}$  C. Die Jahresschwankungen betragen außer in den Küstengebieten 2 bis 6 Grad Celsius. Südlich der Kapverdischen Inseln verläuft das Divergenzgebiet der Kapverdischen Inseln in südwestliche Richtung. Diese Divergenzzone trennt das Gebiet der Passatstromregion von der südlich liegenden äquatorialen Gegenstromregion. Das Gebiet im offenen Ozean zwischen der Westwinddriftregion im Norden und der Passatstromregion im Süden nennt man die Roßbreiten. Die Strömungen in den Roßbreiten sind sehr schwach. Bedingt durch die hohe Verdunstung steigt der Salzgehalt bis zu 37.5‰ an, während die Temperaturschwankungen gering sind.

Der thermohaline Aufbau der Warmwassersphäre hat in den Tropen und Subtropen eine ganz charakteristische Erscheinung. Eine scharf ausgeprägte Dichtesprungschicht trennt das warme, fast homogene Oberflächenwasser von dem kühleren Wasser der unteren Schicht der Warmwassersphäre. Diese Sprungschicht liegt bei  $10^{\circ}$  N in etwa 40 m Tiefe und sinkt zu den Subtropen hin auf etwa 200 m Tiefe ab, um sich schließlich im Bereich  $30^{\circ}$  N aufzulösen.

In den Subtropen findet man im Bereich der thermischen Sprungschicht ein schmales Salzgehaltsmaximum. Dieses Salzgehaltsmaximum existiert nicht im Ostatlantik im Bereich 10 bis 15 Grad Nord. Salzreiches Wasser der Roßbreitenregion nördlich von  $25^{\circ}$  N breitet sich in der Dichtesprungschicht nach Süden hin aus. Im Bereich der Kapverdischen Divergenz findet dieser Salzgehaltsvorschub sein Ende, so daß der Bereich 10 bis 15 Grad Nord auf der Ostseite des Atlantiks kein Salzgehaltsmaximum aufweisen kann (Defant 1938).

Die Strömung im Bereich der äquatorialen Gegenstromregion ist ostwärts gerichtet und hat ihr Maximum im Nordsommer.

Im Spätsommer bildet der äquatoriale Gegenstrom bei ca. 8 bis 12 Grad Nord und 18 bis 25 Grad West einen zyklonalen Wirbel, den Guineadom (Voituriez, Herbland 1980).

Die Strömungsverhältnisse dicht an der afrikanischen Küste südlich von  $25^{\circ}$  N sind kompliziert. Neben einer oberflächennahen Nordströmung in einiger Entfernung von der Küste, treten während des Sommers und Herbstes auch dicht unter der Küste nordwärtsgerichtete Oberflächenströmungen auf (Mittelstaedt 1976). Weite Teile der afrikanischen Küste sind Auftriebsgebiete, in denen kaltes nährstoffreiches Wasser zur Meeresoberfläche hin ansteigt.



## 6. Datenbearbeitung

Dieses Kapitel gibt die Anforderungen und Auswahlkriterien an die Daten wieder und erklärt ihre Bearbeitung in den einzelnen Rechenschritten. Zunächst mußte unter Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden Datenmenge eine sinnvolle Unterteilung des gesamten Untersuchungsgebietes gefunden werden.



### 6.1 Aufteilung der Regionen

Wie in Kapitel 2 beschrieben, ist die Datenabdeckung der einzelnen Regionen sehr unterschiedlich. Je kleiner die Quadrate gewählt werden, um so besser ist die Auflösung der in diesem Gebiet zu erwartenden hydrographischen Verhältnisse und um so besser beschreibt eine mittlere Kurve den wirklichen Zustand in diesem Gebiet. Dies hat zur Folge, daß der Fehler bei der Berechnung der dynamischen Tiefe aus der mittleren Kurve herabgesenkt werden kann. Andererseits ist die Verkleinerung der Gebiete abhängig von der Menge der vorhandenen Profile, da es für eine statistische Betrachtung nötig ist, daß eine größere Anzahl von Messungen in dem Gebiet vorhanden ist. Diese dynamischen Tiefen aus der mittleren TS- bzw. PS-Kurve werden im Folgenden oft kurz als TS- bzw. PS-dynamische Tiefe bezeichnet.

Als sinnvollste Größe boten sich Quadrate von 3 mal 3 Grad an, die in den meisten Quadraten eine größere Anzahl von Messungen beinhalten. Zugleich bot die räumliche Ausdehnung mit einer Kantenlänge von ca. 330 km eine vernünftige räumliche Auflösung. Einzelne Quadrate im Bereich von 20 Grad Nord beinhalten weniger als 10

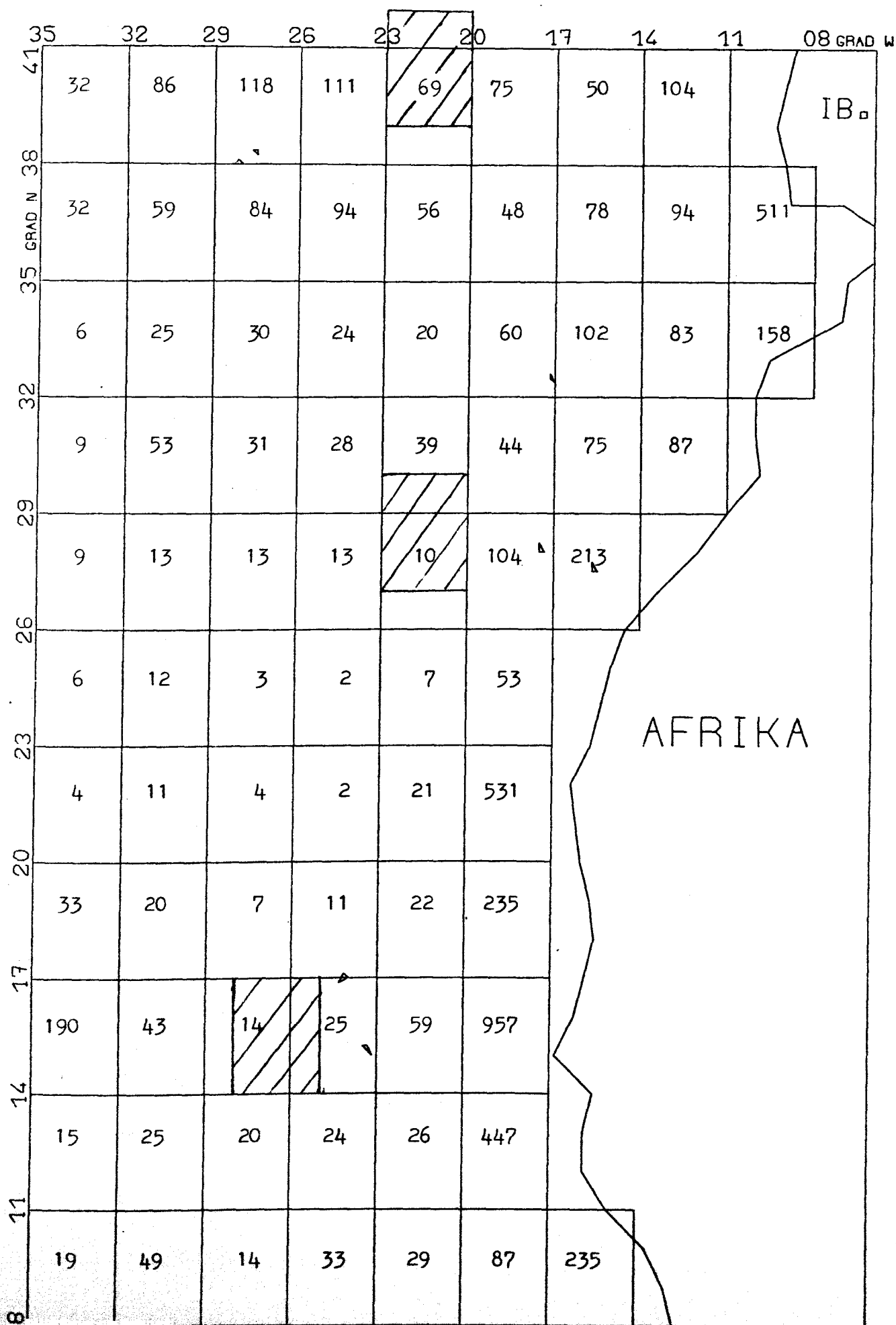
Stationen. Bei einer Erweiterung auf 4- oder 5-Grad Quadrate würde die Anzahl der Stationen in diesen Gebieten nicht stark anwachsen, da gerade auch die Nachbargebiete wenige Messungen beinhalten und somit die statistischen Ergebnisse bei einer räumlichen Erweiterung nicht viel größere Sicherheit erlangen würden, während die räumliche Auflösung in den anderen Gebieten die Ergebnisse stark verschlechtern würde. Durch die Wahl der drei-Grad Quadrate war es nicht möglich, immer den Kontinentalschelf als östliche Begrenzung zu nehmen. Für die weiteren Rechnungen wurden deshalb bei den Quadraten an der westafrikanischen Küste nur Stationen berücksichtigt, die eine Meßtiefe von mehr als 100 m Tiefe aufwiesen.

Abbildung 2 zeigt die Aufteilung in 3 mal 3 Grad Quadrate und die darin liegende Anzahl vorhandener Stationen. Die Küstenlinie und die Lage der Inseln ist nur schematisch angegeben. Insgesamt sind es 6 232 Stationen. Deutlich wird die geringe Anzahl der Messungen im Bereich von 20 bis 30 Grad Nord.

Neben den 78 Gebieten wurden noch drei Testgebiete verwendet, auf deren Ergebnisse im Folgenden teilweise zurückgegriffen wird. Es handelt sich um folgende Gebiete:

14-17° N, 25-28° W  
27-30° N, 20-23° W  
39-42° N, 20-23° W.

Abb.2 Aufteilung der Gebiete mit Anzahl der Profile, die 3 Testgebiete



## 6.2 Mittlere geglättete TS- und PS-Kurven

Zur Erzeugung einer mittleren TS-Kurve wurden im ersten Schritt für jedes Quadrat der Salzgehalt aus allen verfügbaren Messungen für  $1^{\circ}\text{C}$ -Intervalle gemittelt. Die Standardabweichung des Salzgehaltes wurde für jedes dieser Intervalle berechnet.

Im zweiten Schritt wurden die Intervalle auf  $0.2^{\circ}\text{C}$  verkleinert. Hier wurde erneut der Mittelwert für den Salzgehalt berechnet, wobei nur noch die Daten berücksichtigt wurden, bei denen der Salzgehalt innerhalb der zweifachen Standardabweichung liegt, die für das Intervall von der nächstkleineren ganzzahligen Temperatur bis zur nächstgrößeren ganzzahligen Temperatur im ersten Schritt berechnet worden war. Statistisch liegen im Falle einer Normalverteilung 95.45% der Daten innerhalb der zweifachen Standardabweichung. Da Werte mit einem Salzgehalt von 0 Promille gar nicht erst berücksichtigt wurden, hatte dieses Verfahren den Sinn, daß einzelne Ausreißer überlesen wurden und diese die mittlere Kurve nicht verfälschten. Gleichzeitig wurden neben dem Mittelwert des Salzgehaltes auch der Mittelwert der Temperatur in jedem Intervall und die Standardabweichung des Salzgehaltes berechnet.

Die einzelnen berechneten Punkte der mittleren Kurve variierten noch so stark, daß eine Glättung darauf angewendet werden mußte. Zu diesem Zweck wurde auf eine mehrfach übergreifende Mittelung zurückgegriffen, wie sie Emery und Wert (1976a) verwendet haben. Nach verschiedenen Versuchen mit 5- und 7-fach übergreifender Mittelung stellte sich eine 2 mal ausgeführte 7-fach übergreifende Mittelung als der beste Kompromiß mit einer guten Glättung der Feinstruktur unter weitgehender Bewahrung der charakteristischen Wassermassen heraus. Abb. 3 zeigt die mittlere TS-Kurve bei 0, 1 und 2 mal 7-fach übergreifender

Mittelung. Die dreifache Mittelung ändert wenig an dem Verlauf der mittleren Kurve, beginnt allerdings die wahren Kurven, wie z.B. den Einfluß des Mittelmeerwassers, zu glätten. Auf die gemittelte Kurve wurde zum Abschluß ein Splineverfahren angewandt, wobei die Koeffizienten so gewählt wurden, daß die Kurve durch die vorhandenen Stützpunkte läuft und nur zwischen diesen Punkten leichte Welligkeit möglich war. Die Hauptaufgabe bei dem Spline-Verfahren war es, die Werte für feste  $0.05^{\circ} \text{C}$  Abstände zu berechnen, da diese für die weitere Berechnung der dynamischen Tiefe benötigt werden.

Die Wirkung dieser Methode ist in Abb. 8 und 9 an der mittleren Kurve ersichtlich. Die Kreuze beschreiben die Lage der übergreifend gemittelten Werte der P-Sigma-Beziehung. Die durchgezogene Linie verbindet die über das Spline-Verfahren berechneten Werte.

Die Spline-Interpolation besteht im wesentlichen aus einem Polynom dritten Grades und zeichnet sich durch eine geringe Welligkeit aus. Die Algol-Prozedur wird bei Sauer und Szabo (1970) angegeben.

Bei der Bestimmung der mittleren PS-Kurve wurde nach der gleichen Methode vorgegangen. Aufgrund der großen Abstände unterhalb von 100 m Tiefe wurden bis 100 m Tiefe 5 m-Intervalle gewählt, ab 100 m Tiefe 50 m-Intervalle. Als beste Mittelung für die PS-Kurve erwies sich eine 5-fach übergreifende Mittelung, die wiederum zwei mal ausgeführt wurde. Eine so geglättete mittlere Kurve und die geglätteten Kurven für die Standardabweichung, eingezeichnet in die dazugehörigen PS-Diagramme, zeigen Abb. 5 und 6. Bei den Abbildungen 3, 4, 5 und 6 handelt es sich um anfängliche Testgebiete, deren Lage nicht mit den später benutzten Gebieten zusammenfällt.



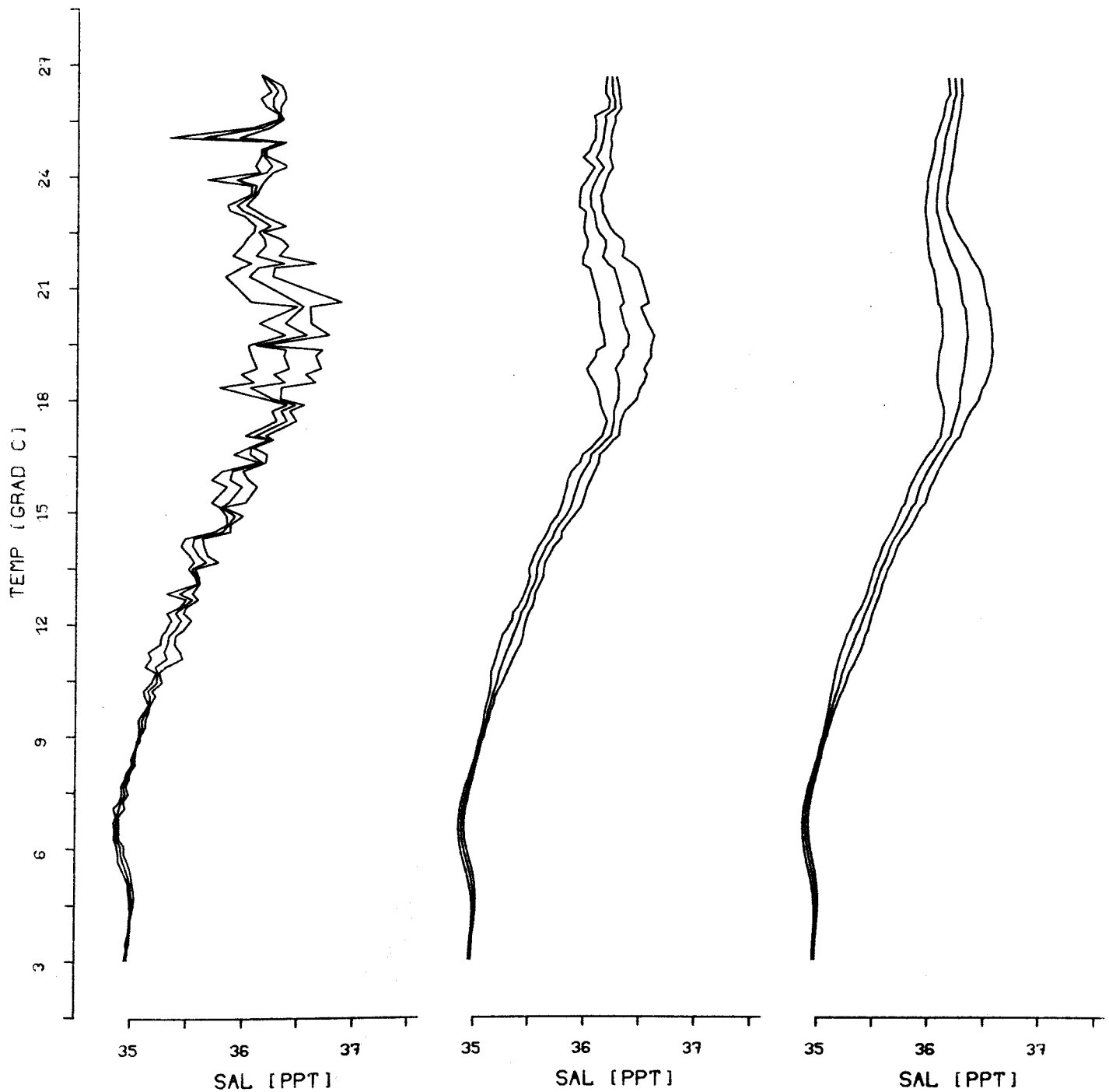


Abb.3 Mittlere TS-Kurve mit Standardabweichungen,  
0-,1-,2-mal 7-fach übergreifend gemittelt,  
Seegebiet: 14-17° N, 25-28° W

SEEGBIET 27-30 GRAD N. 20-23 GRAD W

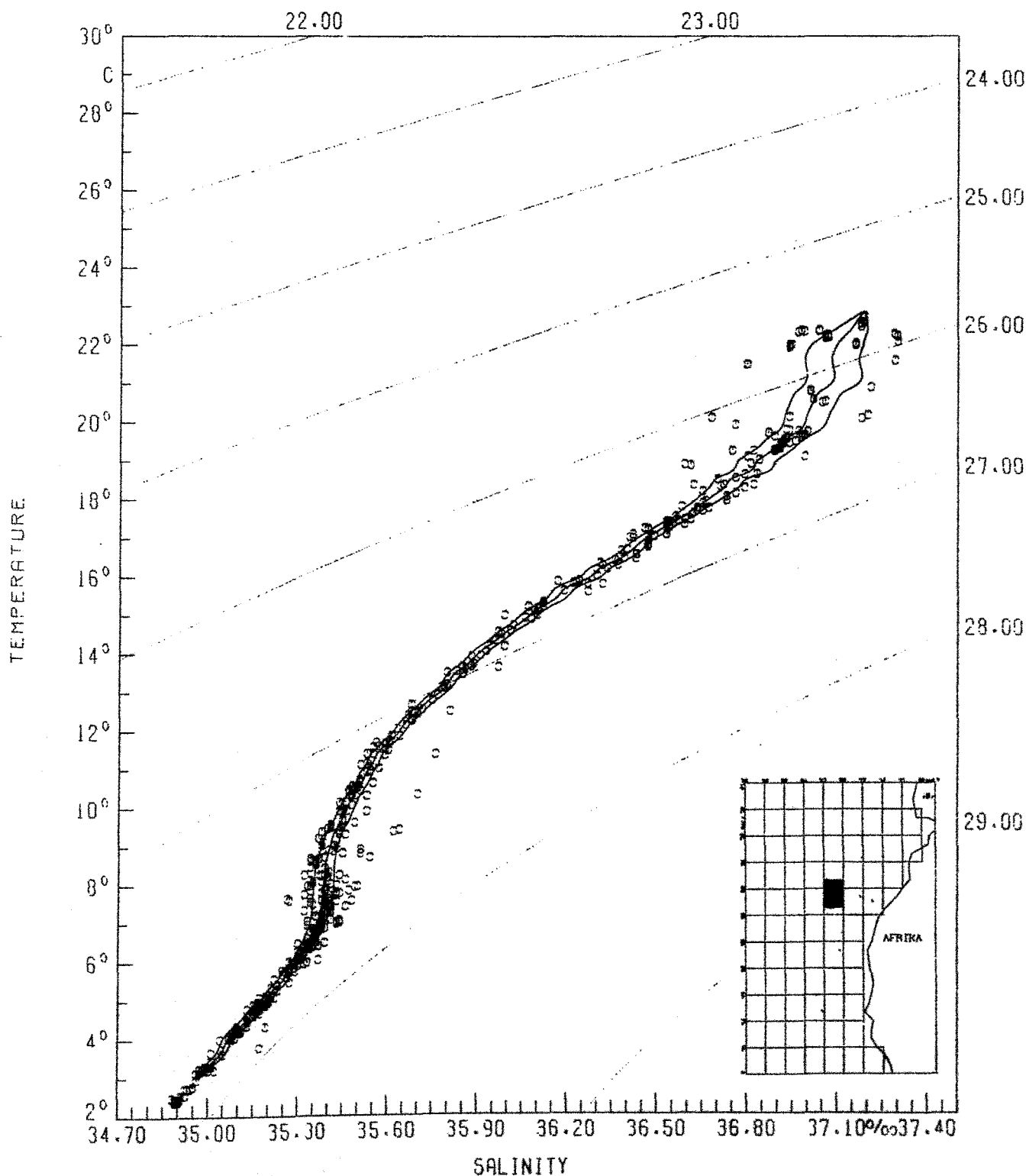
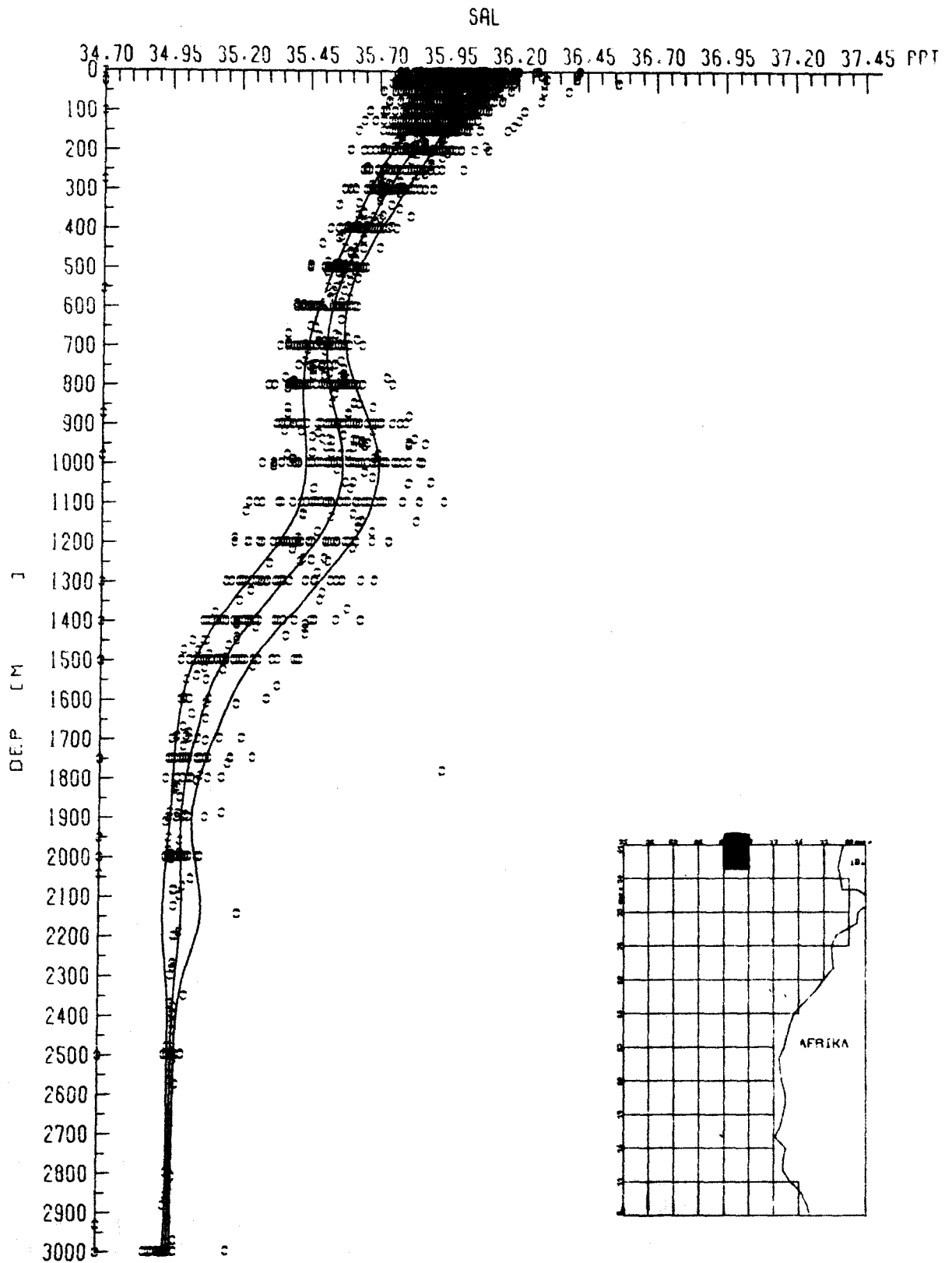


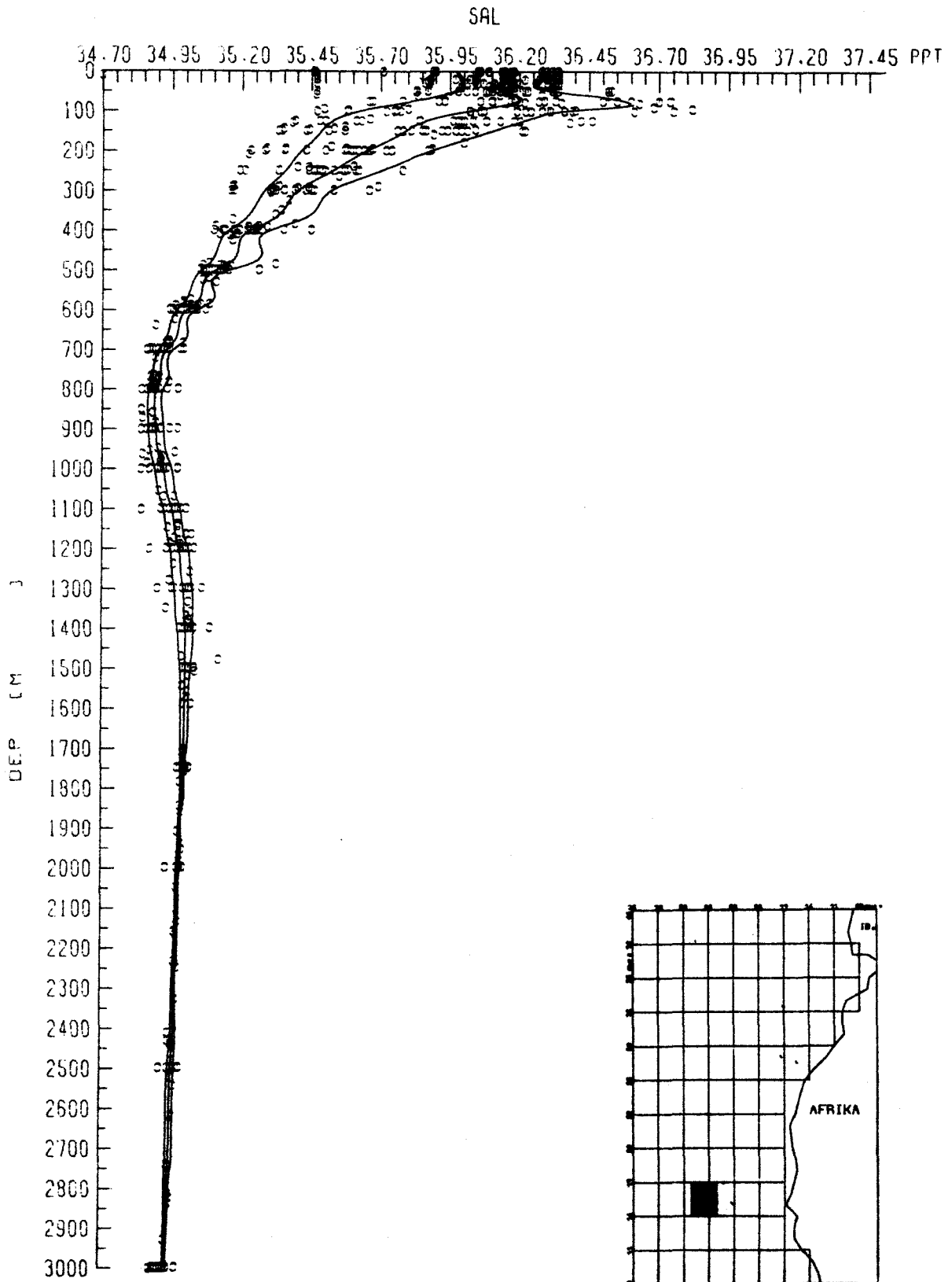
Abb. 4 TS-Diagramm mit mittlerer TS-Kurve und Standardabweichung



SEEGBIET 39-42 GRAD N, 20-23 GRAD W

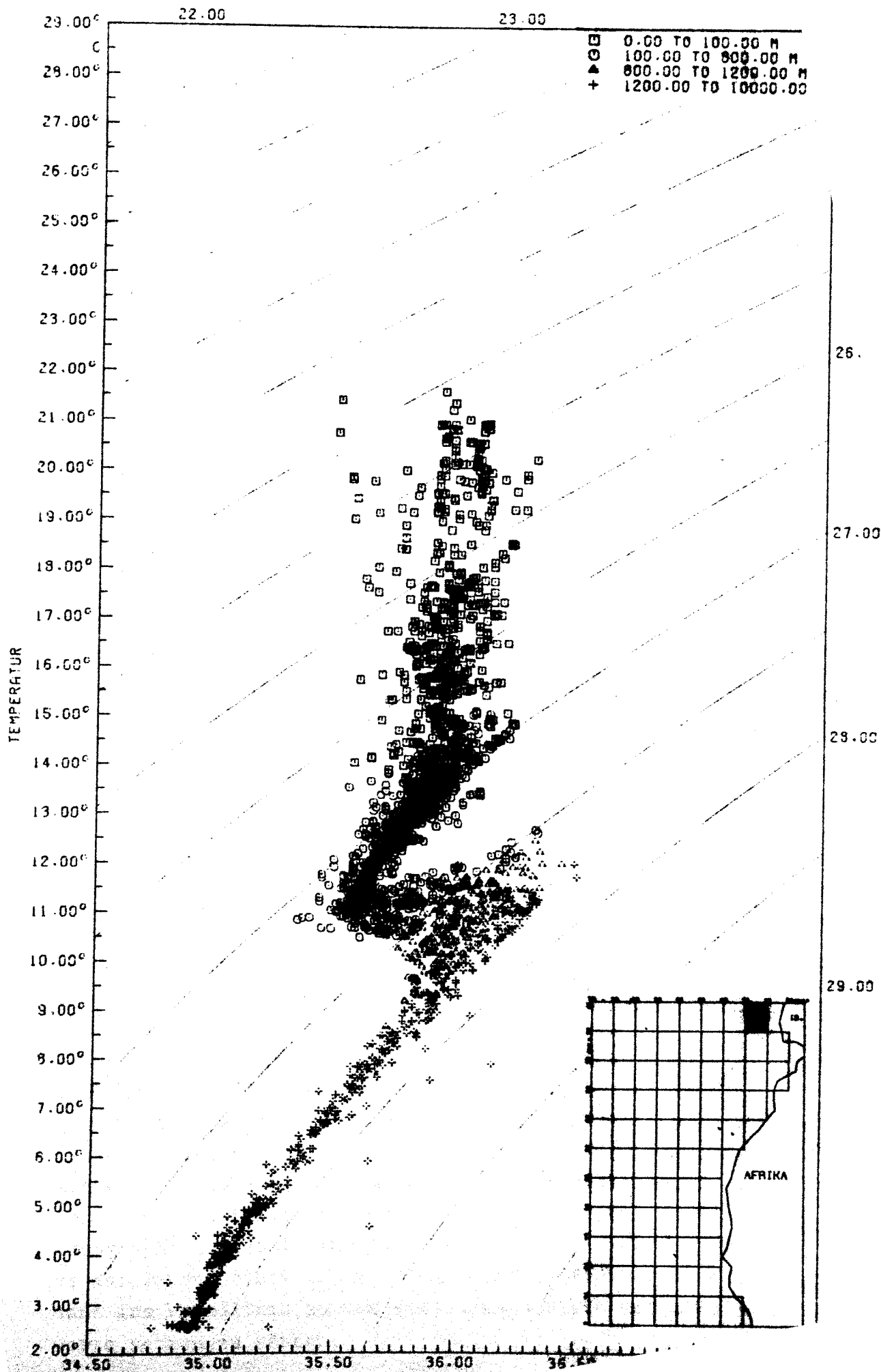
Abb.5 PS-Diagramm mit mittlerer PS-Kurve und Standardabweichung





SEE GEBIET 14-17 GRAD N, 25-28 GRAD W

Abb.6 PS-Diagramm mit mittlerer PS-Kurve und Standardabweichung





### 6.3 Berechnung der dynamischen Topographie

Der Formalismus zur Berechnung der dynamischen Topographie wurde aus Programmpaketen übernommen, die im Institut für Meereskunde in Kiel benutzt werden. Die mittlere TS-Kurve liegt nach Anwendung des Spline-Verfahrens in  $0.05^\circ$  C-Intervallen vor, die mittlere PS-Kurve in 2 m-Intervallen. Die einzelnen Profile eines Gebietes werden eingelesen, und aus diesen Werten wird die wahre dynamische Tiefe berechnet. Anschließend wird zu jedem Temperaturwert in der mittleren TS-Kurve das Intervall mit dem dazugehörigen Salzgehaltswert gesucht und damit die TS-dynamische Tiefe berechnet. Schließlich wird zu jedem Tiefenwert der dazugehörige Salzgehaltswert aus der mittleren PS-Kurve bestimmt und damit die PS-dynamische Tiefe berechnet.

Berücksichtigt werden nur Profile, die das obere und untere Referenzniveau auf plus oder minus 2 Meter genau erreichen. Als zusätzliche Forderungen wird an die Profile gestellt, daß mehr als 6 vollständige Meßzyklen in verschiedenen Tiefenstufen vorliegen und der Abstand zwischen zwei Tiefenstufen 250 m nicht überschreiten darf. Ansonsten werden diese Profile überlesen, und im Ergebnisausdruck wird eine Meldung ausgegeben, warum keine Rechnung ausgeführt wurde.

Aus den berechneten Werten für die wahre dynamische Tiefe und den dynamischen Tiefen aus den gemittelten Kurven werden für jedes Gebiet die Mittelwerte der dynamischen Tiefen für jede der drei Methoden ausgerechnet. Weiterhin wird der mittlere Fehler der Einzelwerte  $RMS = ((\Delta D)^2 / (n-1))^{1/2}$  sowohl für die TS-dynamische Tiefe als auch für die PS-dynamische Tiefe jeweils im Verhältnis zu dem Ergebnis der wahren dynamischen Tiefe bestimmt. Diese mittleren Fehler der Einzelwerte liefern die Information für die Güte der Annäherung der dynamischen Topographie aus den gemittelten Kurven an die wahre dynamische Topographie. Deshalb muß man die Genauigkeit der Ergebnisse der wahren dynamischen Topographie bestimmen, um diese dann ins Verhältnis zu den mittleren Fehlern der Einzelwerte setzen zu können.

#### 6.4 Fehlergröße bei Berechnung der dynamischen Topographie

Sehr ausführlich hat sich Fomin (1964) mit dem Problem beschäftigt, wie groß die Fehlergrenzen bei der Berechnung der dynamischen Topographie sind. Er betrachtet die Fehler nur in Abhängigkeit von der Genauigkeit der Meßgeräte bei optimaler Handhabung. Mit einer Genauigkeit von  $\pm 0.02^{\circ} \text{C}$  bei der Temperaturmessung und  $\pm 0.009\%$  bei der Salzgehaltsmessung erhält er eine lineare Beziehung zwischen dem Fehler und der Tiefe. Die Genauigkeit beträgt nach Fomin 1 dyn cm bei 0 bis 500 m Tiefe, 2 dyn cm bei 0 bis 1000 m Tiefe und 4 dyn cm bei 0 bis 2000 m Tiefe. Neben diesen Meßfehlern können Vorgänge im Meer wie interne Wellen und Gezeiten starken Einfluß auf das Ergebnis nehmen. Diesen Einfluß untersuchte Defant (1950) anhand von Daten des Nordostpazifik. Er konnte zeigen, daß alleine durch Gezeiten Störungen bis zu 8 dyn cm auftreten können. Da durch Eddies ebenfalls große Störungen zu erwarten sind, nehmen Emery (1975) und Emery und Wert (1976) für den Bereich 0 bis 1000 m bzw. 0 bis 500 m Tiefe einen Fehler von 4 dyn cm an, der dann verglichen werden kann mit dem mittleren Fehler der Einzelwerte bei der Berechnung der dynamischen Tiefe aus einer gemittelten Kurve.

Für die in Kapitel 8 folgende Untersuchung der genäherten dynamischen Topographien werden für 0 bis 500 m und 0 bis 1000 m Tiefe die Werte von Emery mit 4 dyn cm übernommen und als erlaubte Abweichungen für die mittleren Fehler der Einzelwerte bei Benutzung von gemittelten Kurven im Verhältnis zu den wahren Werten zugelassen. Für die Betrachtung von 0 bis 2000 m Tiefe kann der erlaubte Fehlerbereich auf 5 dyn cm erweitert werden, da mit der Tiefe die Fehlergröße zunimmt. Dieser Fehler wird im Folgenden öfters kurz als der Fehler aus der mittleren Kurve bezeichnet. Die Fehlerwerte von 4 bzw. 5 dyn cm sind als noch akzeptabel für sinnvolle Resultate anzusehen, nicht aber als feste Grenze zwischen guten und schlechten Ergebnissen.

## 7. Mittlere Dichte-Tiefe-Beziehung der oberen 400 Meter

In den oberen 200 Metern des Ozeans erwartet man, bedingt durch jahreszeitliche Schwankungen und Einflüsse an der Meeresoberfläche die größten Schwankungen im Salzgehalt und in der Temperatur. Markierungen einzelner Tiefenstufen in TS-Diagrammen im Bereich der Kapverdischen Inseln zeigten, daß bei 100 m Tiefe Salzgehalt und Temperatur erhebliche Schwankungen aufweisen, die TS-Punkte aber nur geringfügig um einen Dichtewert schwanken. Somit stellte sich die Frage, ob und wie weit man bei Benutzung einer mittleren Dichte-Druck-Kurve im oberen Bereich des Ozeans den Fehler bei der Berechnung der genäherten dynamischen Topographie senken kann.

Für den Bereich 0 bis 400 m Tiefe wurde mit dem gleichen Formalismus, wie er für die mittleren TS- und PS-Kurven benutzt wurde, eine mittlere Kurve von  $\Sigma_{STP}$  über die Tiefe erstellt und durch übergreifende Mittelung geglättet. Die P- $\Sigma_{STP}$ -Kurve für das Gebiet  $8-11^{\circ}$  N,  $26-29^{\circ}$  W zeigt Abb. 8. Unterhalb einer recht homogenen Deckschicht erkennt man die für tropische Gebiete charakteristische Dichtesprungschicht.

In dem Testgebiet  $14-17^{\circ}$  N,  $25-28^{\circ}$  W ergibt sich bei Berechnung der mittleren Fehler der Einzelwerte (RMS) aus der gemittelten TS-Kurve gegenüber den wahren Werten ein Fehler von 3.8 dyn cm. Für verschiedene Tiefenintervalle wurde nun statt des Salzgehaltes aus der TS-Kurve die Dichte aus der P- $\Sigma_{STP}$ -Kurve genommen; außerhalb des Intervalls wurde weiterhin der Salzgehalt aus der mittleren TS-Kurve übernommen und damit die dynamische Topographie bestimmt. Der geringste Fehler ergab sich für dieses Testgebiet mit 2.4 dyn cm bei einem Intervall für die P- $\Sigma_{STP}$ -Kurve von 80 bis 350 Metern Tiefe. In diesem Gebiet kann somit der ursprüngliche Fehler um 37% gesenkt werden.

Erst unterhalb der Deckschicht liefert die P-Sigma<sub>STP</sub>-Kurve bessere Werte. Um zu sehen, wie weit dieser Formalismus auch in den anderen Gebieten funktioniert, wurde für alle Gebiete des Nordostatlantik zusätzlich die dynamische Tiefe so bestimmt, daß für 0 bis 80 m Tiefe der Salzgehalt aus der mittleren TS-Kurve bestimmt wurde, von 80 bis 350 m Tiefe die Dichte aus der P-Sigma<sub>STP</sub>-Kurve übernommen wurde und unterhalb von 350 Metern der Salzgehalt wieder aus der TS-Kurve genommen wurde. So erhaltene Ergebnisse werden im Folgenden als Sigma-TS-dynamische Topographie bezeichnet.

Abb. 9 zeigt die Sigma<sub>STP</sub>-Kurve für das Gebiet 38 bis 41° N, 11 bis 14° W. Auch in diesem nördlichen Gebiet ist die Standardabweichung der Dichte groß in den oberen 100 Metern, so daß es ebenfalls nicht sinnvoll wäre, das Intervall 80 bis 350 m nach oben hin auszuweiten.

Ein Test im Gebiet 35 bis 38° N, 29 bis 32° W ergab kein Intervall, das einen kleineren mittleren Fehler der Einzelwerte ergab, als die Werte der TS-dynamischen Tiefe. Je größer das Intervall gewählt wurde, um so stärker nahm der Fehlerbetrag zu. Daraus folgt, daß in diesem Gebiet bei der Methode mit einem eingeschobenen Dichteintervall die wahren Verhältnisse nicht besser genähert werden können als mit Hilfe der TS-dynamischen Tiefe.

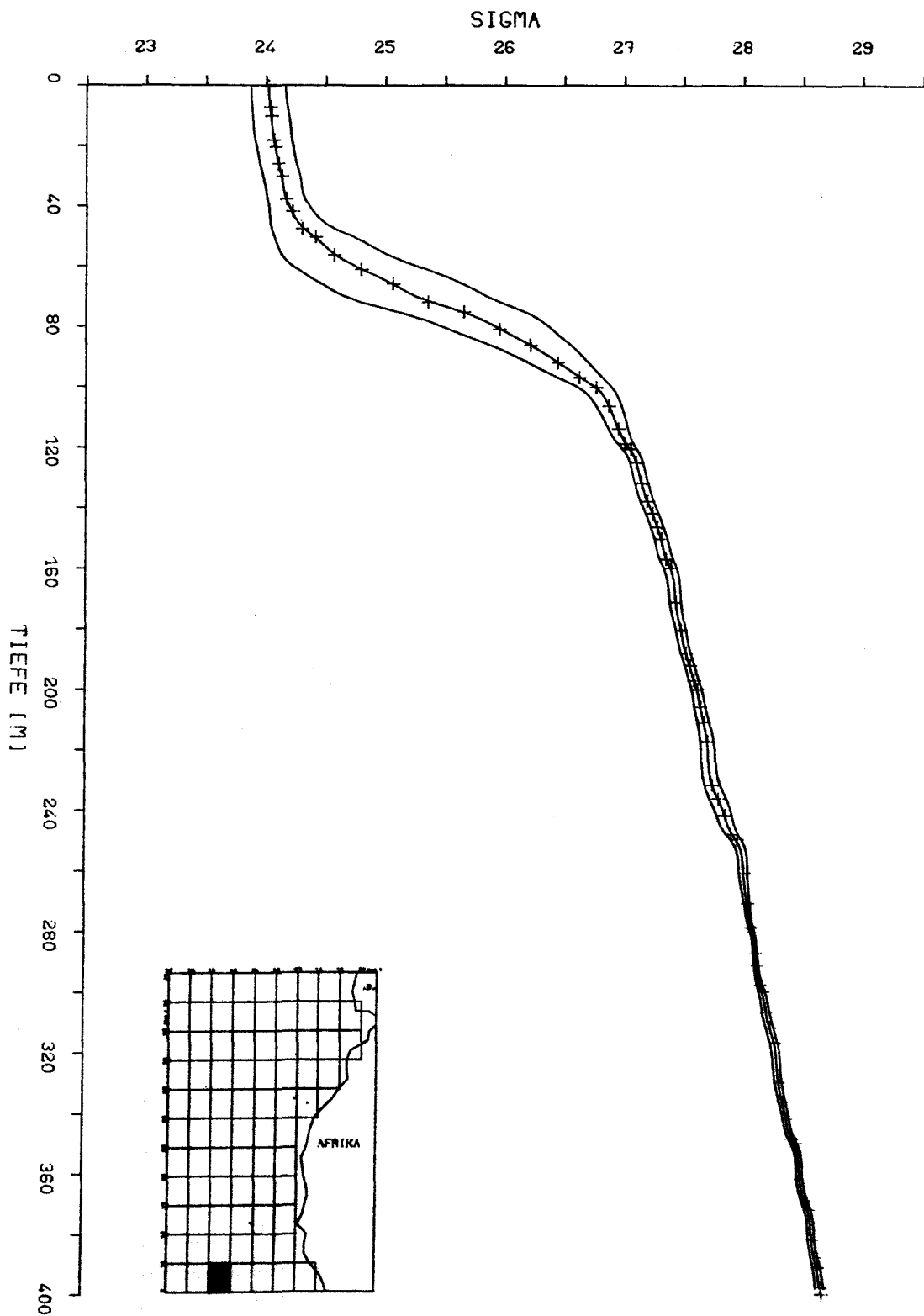


Abb.8 P-Sigma<sub>STP</sub>-Kurve mit Standardabweichung  
Seegebiet 8-11° N, 26-29° W

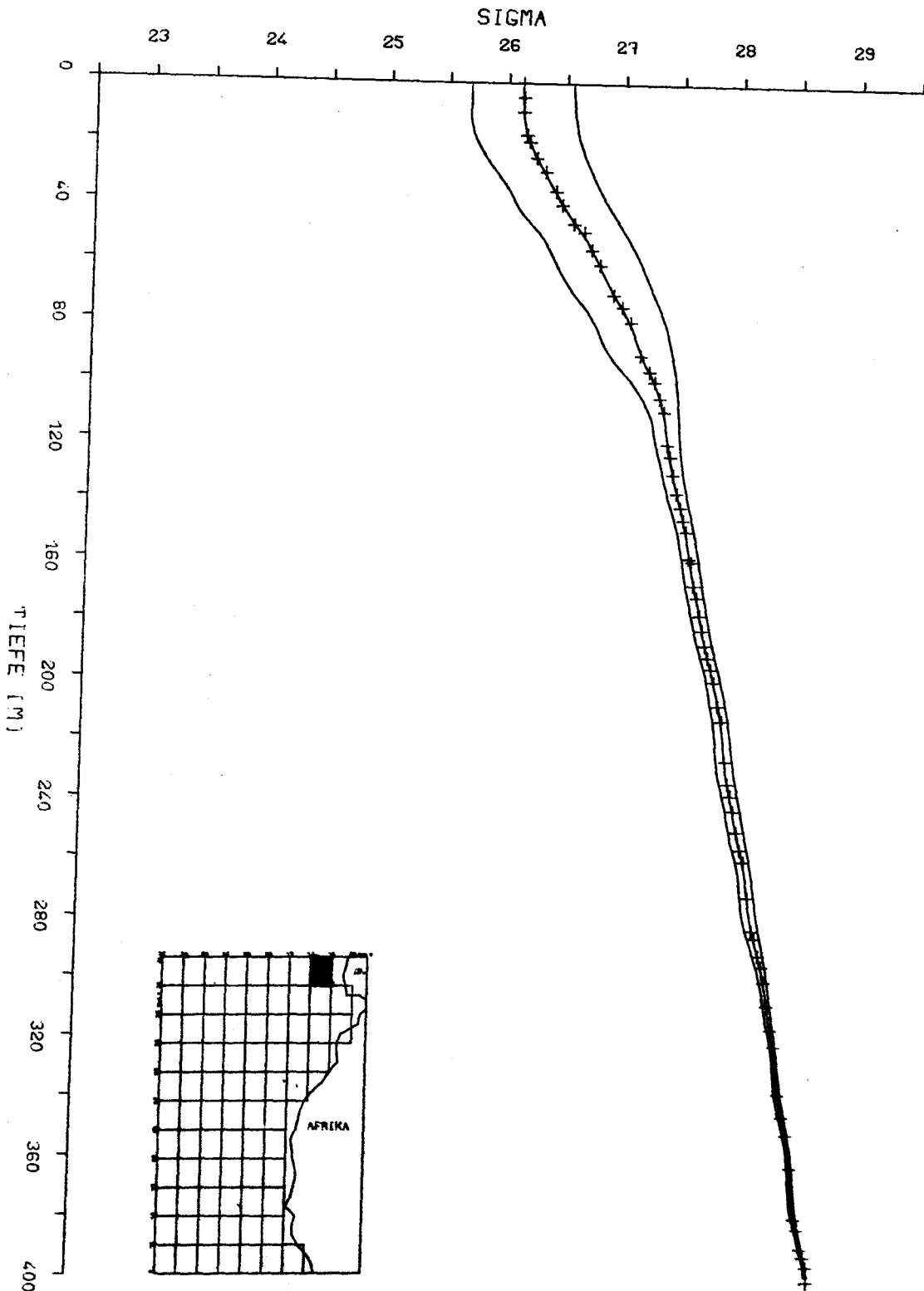


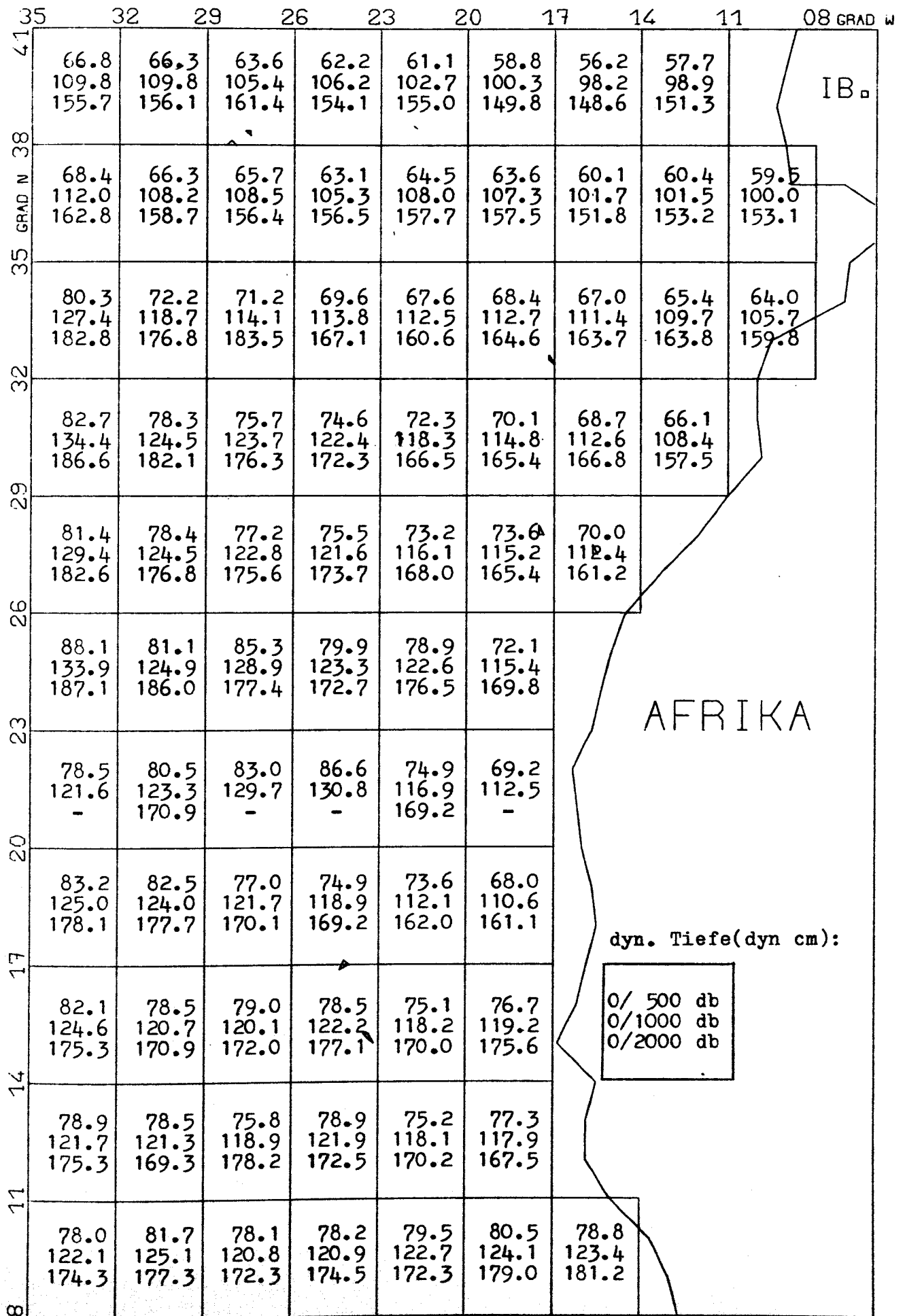
Abb.9 P-Sigma<sub>STP</sub>-Kurve mit Standardabweichung  
Seegebiet 38-41° N, 11-14° W



## 8. Unterschiede für Tiefenbereiche und Regionen

Für die in Abbildung 2 gezeigten 78 drei mal drei Grad Quadrate wurden Berechnungen für 0 bis 500 m Tiefe, 0 bis 1000 m Tiefe und 0 bis 2000 m Tiefe durchgeführt. In den Rechnungen wurde von der Annahme ausgegangen, daß der Druck  $p$  in db der Tiefe  $z$  in m entspricht. Bei dieser Annahme kann nach Fomin (1964) die vertikale Verteilung des spezifischen Volumens als gleich angesehen werden, da  $p \approx 1.01 z$  ist. Der Fehler in der Berechnung der dynamischen Tiefe beträgt dadurch 1% und geht in alle Rechnungen gleichermaßen ein, so daß dieser Fehler vernachlässigt werden kann (Fomin, 1964).

Abbildung 10 zeigt die Mittelwerte der wahren dynamischen Topographie. Der obere Wert in den Rechtecken ist die dynamische Tiefe für 0 bis 500 db, der mittlere Wert für 0 bis 1000 db und der untere Wert für 0 bis 2000 db. Alle Werte haben die Einheit dyn cm.



### 8.1 Bereich 0 bis 500 db

Die Ergebnisse für das Niveau 0 bis 500 db sind in den Abbildungen 11, 12 und 13 wiedergegeben.

Abb. 11 enthält die Ergebnisse der dynamischen Topographie aus einer mittleren TS-Kurve, die für das jeweilige Gebiet berechnet wurde. Die obere Zahl ist der Mittelwert der dynamischen Tiefe aus der Rechnung mit der mittleren TS-Kurve in der Einheit dyn cm. Die mittlere Zahl gibt den mittleren Fehler der Einzelwerte in dyn cm gegenüber den Werten der wahren dynamischen Tiefe an. Falls nur ein Profil in der Rechnung benutzt wurde, so steht der Wert in Klammern, und die Zahl ist die Differenz zum Wert der wahren dynamischen Tiefe mit der Einheit dyn cm. Die untere Zahl ist die bei der Berechnung benutzte Anzahl von Profilen. Schwarz umrandete Felder sind die Gebiete, bei denen der mittlere Fehler der Einzelwerte größer oder gleich 4.0 dyn cm ist.

Nur drei Gebiete der TS-dynamischen Topographie (Abb. 11) haben einen zu großen Fehlerbetrag. Es handelt sich um ein Küstengebiet und um zwei Gebiete in der Gegend der Kapverdischen Inseln. Fehlerwerte über 2 dyn cm weisen neben den Küstenstationen noch die Stationen im Gebiet 14-23° N auf. Im offenen Ozean nördlich von 23° N betragen die Fehlerwerte in den meisten Gebieten weniger als 2 dyn cm.

Die Ursachen für die verhältnismäßig hohen Fehlerwerte im Bereich 14-23° N liegen in der in Kapitel 5 beschriebenen hydrographischen Situation. In diesem Bereich existiert ein Salzgehaltsmaximum in der Sprungschicht, das in Intensität und Tiefenlage stark schwankt. Die Stärke der Salzgehaltsschwankungen in den oberen 200 m der PS-Kurve kann man in Abb. 6 ablesen, wenn man dieses Gebiet aus dem Bereich der Kapverdischen Inseln mit einem nördlichen Gebiet (Abb. 5) vergleicht. Die Auswirkung in dem dazugehörigen TS-Diagramm sind in Abbildung 3 erkennbar, wenn die Aufweitung der Standardabweichung im Bereich 17-21° C betrachtet wird.

Zwischen  $8^{\circ}$  und  $14^{\circ}$  Nord ist, bedingt durch die Kapverdische Divergenz, in den TS-Diagrammen kein oder nur ein schwaches Salzgehaltsmaximum vorhanden, und der Fehlerbetrag ist deshalb merklich kleiner.

Bei den Werten der dynamischen Topographie (Abb. 12), berechnet mit der mittleren Dichtekurve für den Bereich 80 bis 350 m, liegt nur eine Küstenstation außerhalb der angesetzten Fehlergrenze von 4 dyn cm. Nördlich von  $23^{\circ}$  N sind die Fehlerwerte im allgemeinen größer als bei den Werten, die aus der TS-Kurve gewonnen wurden. Südlich von  $23^{\circ}$  N sind die Werte teilweise gleichgroß oder sogar kleiner. Wiederum zeigte sich, daß südlich von  $23^{\circ}$  N, in dem Bereich mit einem Salzgehaltsmaximum in der Dichtesprungschicht, die Beträge der Fehlerwerte größer sind, als die nördlich von  $23^{\circ}$  N.

In den Küstenbereichen stoßen Wassermassen des offenen Ozeans mit Küstenwasser zusammen. Zugleich sind weite Teile der afrikanischen Küste Auftriebsgebiete, so daß starke Schwankungen in Salzgehalt und Temperatur auftreten. Damit verbunden ist eine Vergrößerung des Fehlerbetrages bei der Rechnung mit einer gemittelten Kurve, die in jeder der Abbildungen 11 bis 19 bei einigen Küstenstationen zu erkennen ist.

Die Werte der dynamischen Topographie aus der mittleren Druck-Salzgehaltskurve (Abb. 13) liefern mit 23 Gebieten oberhalb der Fehlergrenze die schlechtesten Ergebnisse. Neben dem Bereich  $14$  bis  $26^{\circ}$  N, in dem 62.5% der Gebiete zu große Fehlerbeträge aufweisen, haben außerdem noch 6 Gebiete im Bereich  $32$  bis  $35^{\circ}$  N Werte oberhalb der Fehlergrenze. Der Bereich  $32$  bis  $35^{\circ}$  N weist in der dynamischen Topographie große Differenzen zu den darüberliegenden und teilweise zu den darunterliegenden Gebieten auf. Dies ist gleichzusetzen mit einem Gebiet relativ starker Strömungen, die durch eine mittlere PS-Kurve schlecht beschrieben werden können. Hier wird aufgrund der geostrophischen Balance durch die Strömung eine Schrägstellung der Linien gleicher

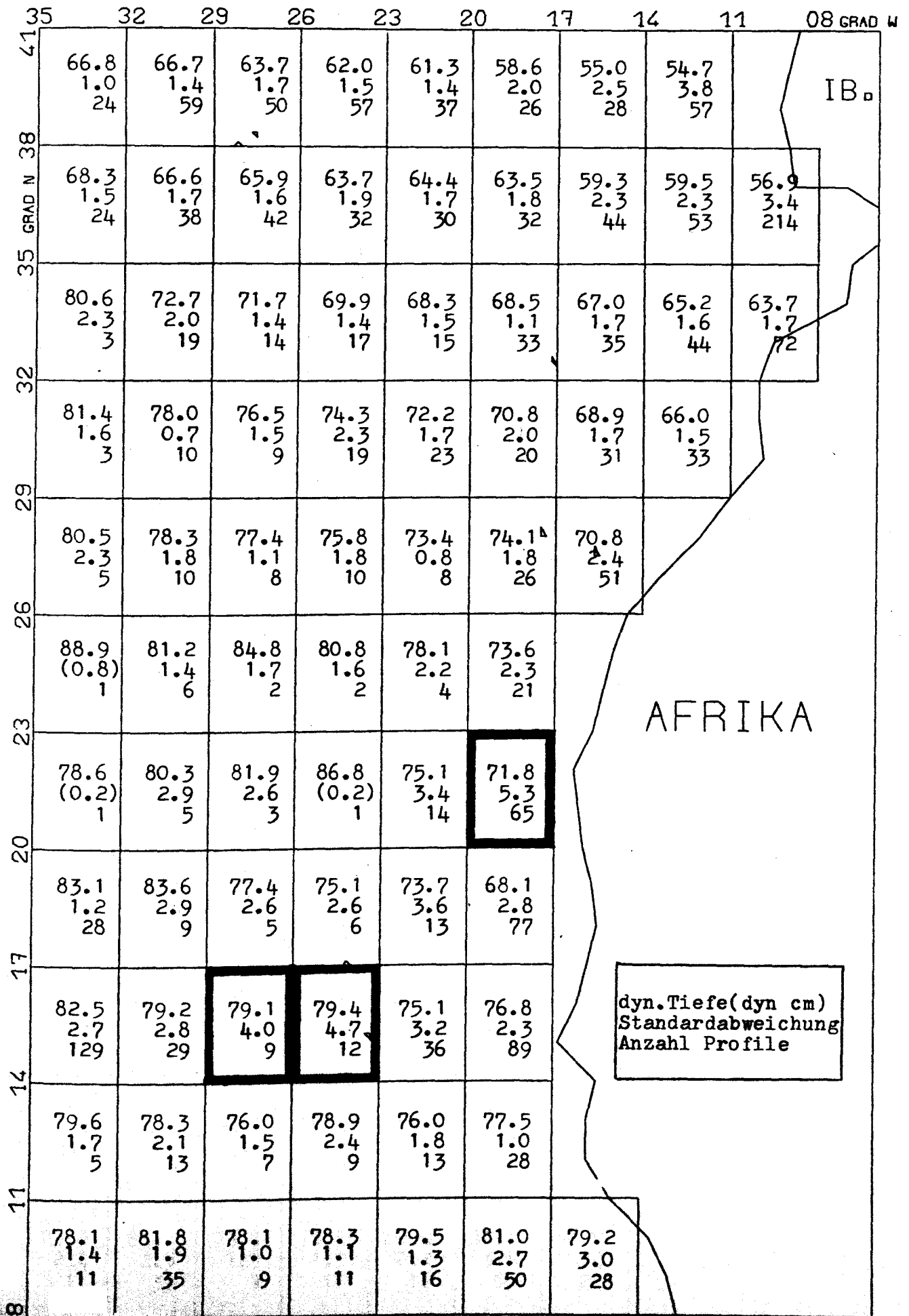
Dichte erzeugt. Somit liegt die Grenze zwischen dem salzreichen Roßbreitenwasser und dem salzarmen Wasser der Westwinddriftregion schräg, was die Kurve im PS-Diagramm aufweitet, dagegen im TS-Diagramm keine Folgen hat.

Im Bereich 14 bis  $26^{\circ}$  N liefert die PS-dynamische Topographie im Vergleich zu den beiden anderen Näherungsmethoden die schlechtesten Ergebnisse. Die Änderung der Tiefenlage des Salzgehaltsmaximums bewirkt den größten Fehler einfluß, die PS-Kurve ist am wenigsten dazu geeignet, die Schwankungen des Salzmaximums zu beschreiben.

Durch Kombination der Werte der TS-dynamischen Topographie mit den Ergebnissen der Sigma-TS-dynamischen Topographie in einigen südlichen Quadranten gibt es für den Bereich von 0 bis 500 db kein Gebiet, in dem ein Wert größer als 4 dyn cm für den mittleren Fehler der Einzelwerte auftritt. Das heißt, daß in jedem Gebiet immer eine Näherungsmethode existiert, die unterhalb der gesetzten Fehlergrenze bleibt.

Nimmt man jeweils den Formalismus mit der kleineren Fehlergröße, so gibt es nur 2 Quadrate, die einen Wert größer als 3 dyn cm aufweisen. Somit scheint es für das gesamte Untersuchungsgebiet möglich und sinnvoll, die dynamische Topographie für den Bereich 0 bis 500 db aus mittleren Kurven zu berechnen.

Abb.11 0/500 db, TS-dynamische Topographie (Mittelwerte)



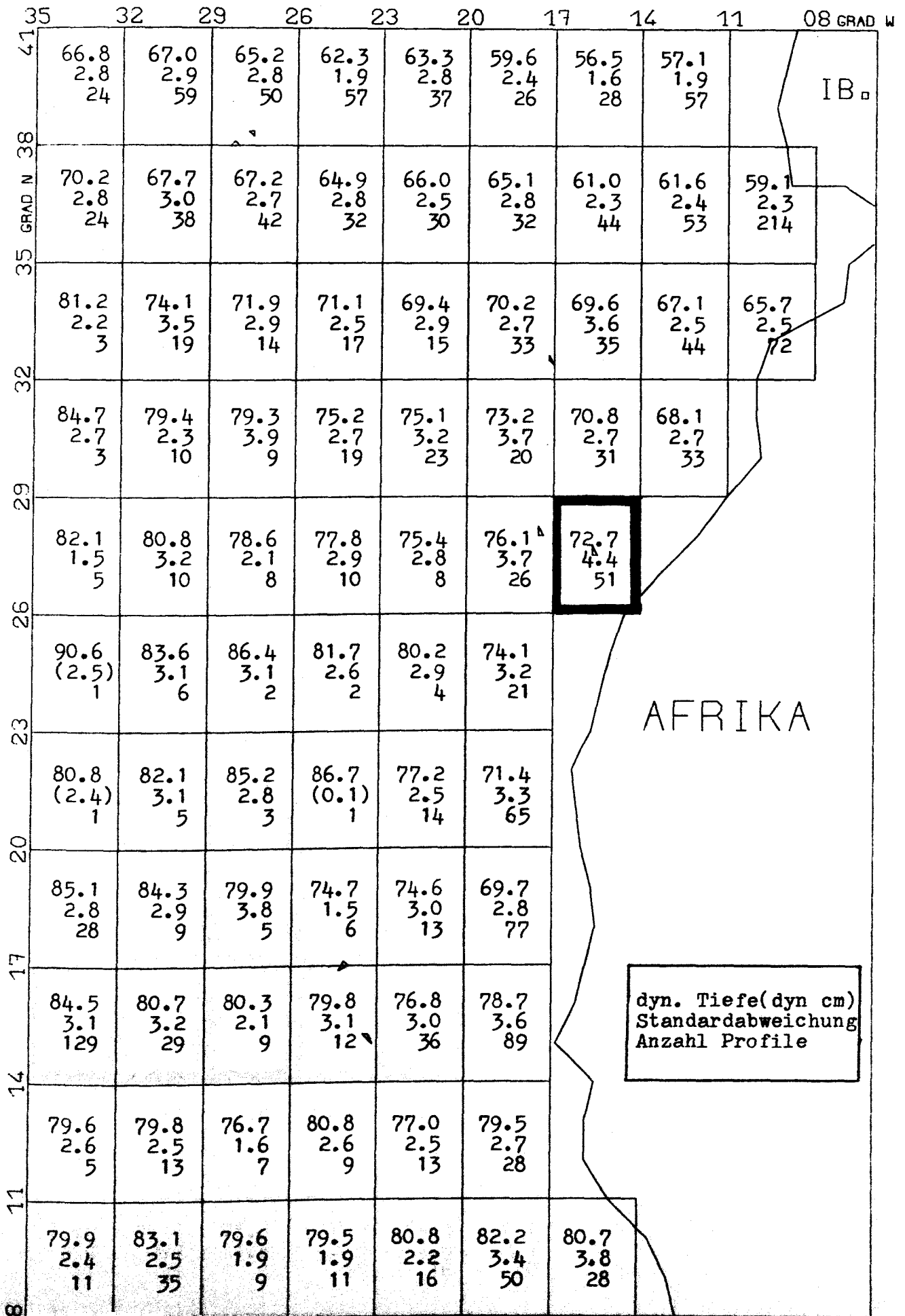
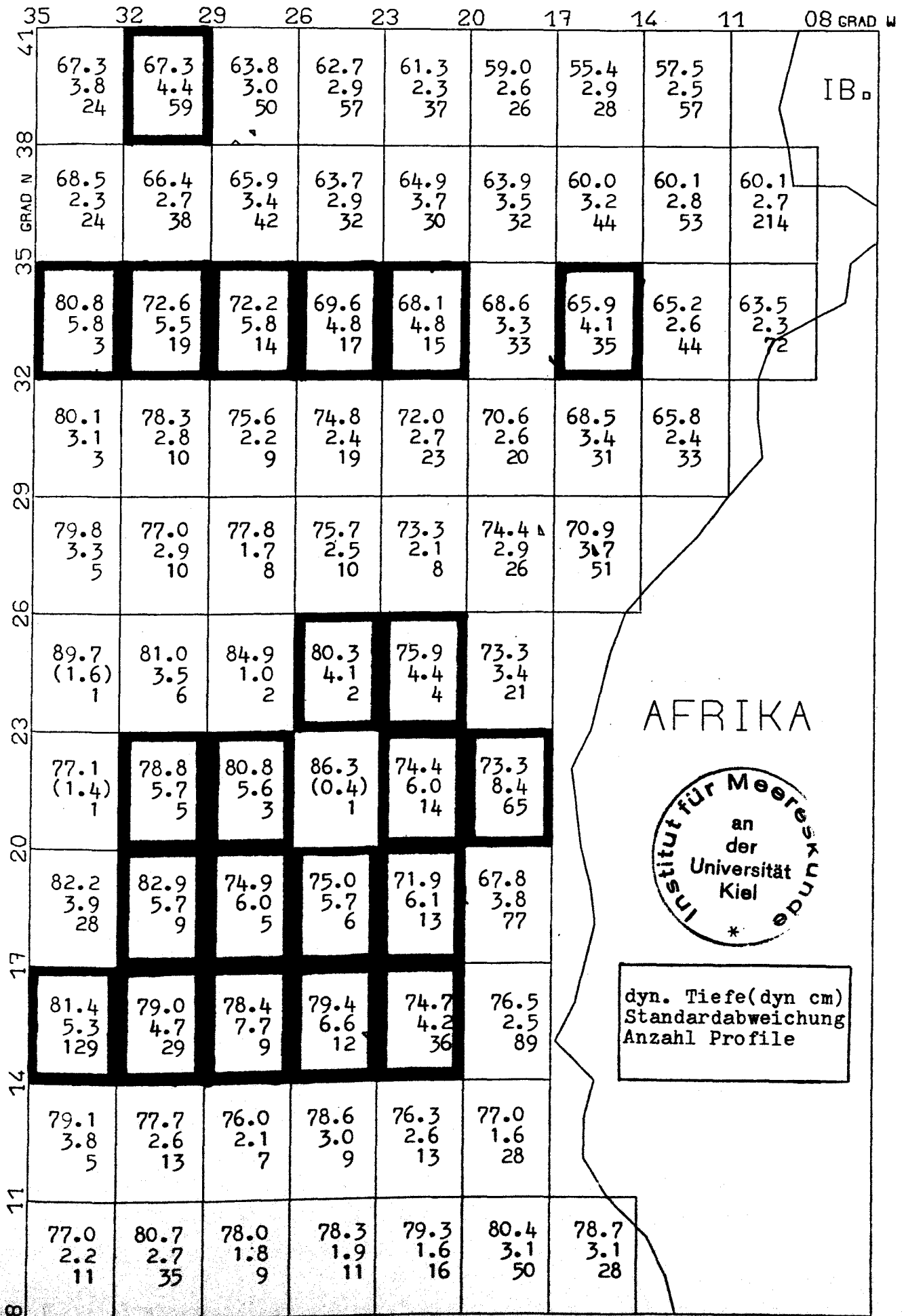


Abb.13 0/500 db, PS-dynamische Topographie (Mittelwerte)





## 8.2 Bereich: 0 bis 1000 db

Die Abbildungen 14, 15 und 16 enthalten die Ergebnisse für das Niveau 0 bis 1000 db.

Bei den Werten der TS-dynamischen Topographie (Abb. 14) haben 18 Quadrate Fehlerwerte, die größer oder gleich 4.0 dyn cm sind. Betroffen davon sind außer den Gebieten westlich und nördlich der Kapverdischen Inseln die Gebiete westlich von Südportugal. Bei den Kapverdischen Inseln werden die großen Fehlerwerte durch die Salzgehaltsschwankungen in der Dichtesprungschicht (siehe Kap. 8.1) erzeugt. Im Bereich westlich von Südportugal liegt die Ursache für die großen Fehlerbeträge in dem schubweise über die Gibraltarschwelle tretende Mittelmeerwasser (Kap. 5), das in TS-Diagrammen bei Tiefen ab 800 Meter durch Salzgehaltsschwankungen zu erkennen ist. Dieses schwankt stark um einen Mittelwert, was zur Folge hat, daß eine mittlere Kurve dieses Verhalten nicht mehr sinnvoll beschreiben kann.

Ein Vergleich der TS-Diagramme (Abb. 4 und 7) verdeutlicht die starken Schwankungen des Mittelmeerwassers im Bereich 6 bis 12° C. Für die PS-Diagramme im Tiefenbereich 800 bis 1500 m lassen sie sich ablesen aus einem Vergleich der Abbildungen 5 und 6.

In Abb. 15, der Sigma-TS-dynamischen Topographie, fällt ebenso wie bei dem Niveau 0 bis 500 db (Kap. 8.1) auf, daß die Werte nördlich von 23° N im Vergleich zur TS-dynamischen Topographie schlechter sind, während sie südlich von 23° N oft bessere Ergebnisse liefern als die Werte aus der TS-Kurve. Hier stoßen Wassermassen mit unterschiedlichen Salzgehalts- und Temperaturwerten, aber annähernd gleicher Dichte, unterschiedlich weit gegeneinander vor. Somit kann der Formalismus mit der mittleren Dichtekurve bessere Ergebnisse liefern als die mittleren TS- und PS-Kurven. Da bei der Berechnung der Sigma-TS-dynamischen Topographie unterhalb von 350 m Tiefe der Salzgehalt aus der mittleren TS-Kurve genommen wird, macht sich zwangsläufig auch hier wie bei der TS-dynamischen

Topographie der Einfluß des Mittelmeerwassers westlich von Südportugal bemerkbar.

Über die Hälfte der Gebiete haben bei der PS-dynamischen Topographie Fehlerwerte überhalb von 4 dyn cm (Abb. 16). Wie bei Betrachtung der PS-Diagramme zu erwarten war, verstärkt auch hier das Mittelmeerwasser mit seinen starken Salzgehaltsschwankungen unterhalb von 800 m Tiefe westlich von Südportugal den Fehler. Fast alle Küstenstationen liegen außerhalb der gesetzten Fehlergrenze. In drei Gebieten, in denen die beiden anderen Methoden versagen, weist die PS-dynamische Topographie Werte unterhalb der Fehlergrenze auf. Ansonsten liefert die PS-dynamische Topographie auf das gesamte Untersuchungsgebiet bezogen wiederum die schlechteste Näherungsmethode.

Bei Kombination der 3 Methoden existieren 10 Gebiete, in denen kein Fehlerwert kleiner als 4 dyn cm vorhanden ist. Davon entfallen 7 Gebiete auf den Mittelmeerausfluß westlich von Südportugal, 2 Gebiete auf Küstenstationen und 1 Gebiet auf das Seegebiet nördlich der Kapverdischen Inseln. Dieses letzte Gebiet hat mit 6 Messungen keine große statistische Absicherung. Wenn man den Bereich vor der südportugiesischen Küste nicht berücksichtigt, so lassen die Ergebnisse die Vermutung zu, daß mit Ausnahme einiger Küstengebiete die restlichen Gebiete für das Niveau 0 bis 1000 db mit den Näherungsmethoden bearbeitet werden können, wenn die jeweils beste Methode verwendet wird.

Man muß sich jedoch verdeutlichen, daß die Anzahl der vorhandenen Messungen in einzelnen Gebieten oft recht klein ist, so daß die statistische Absicherung nicht besonders hoch ist.

Abb.14 0/1000 db, TS-dynamische Topographie (Mittelwerte)

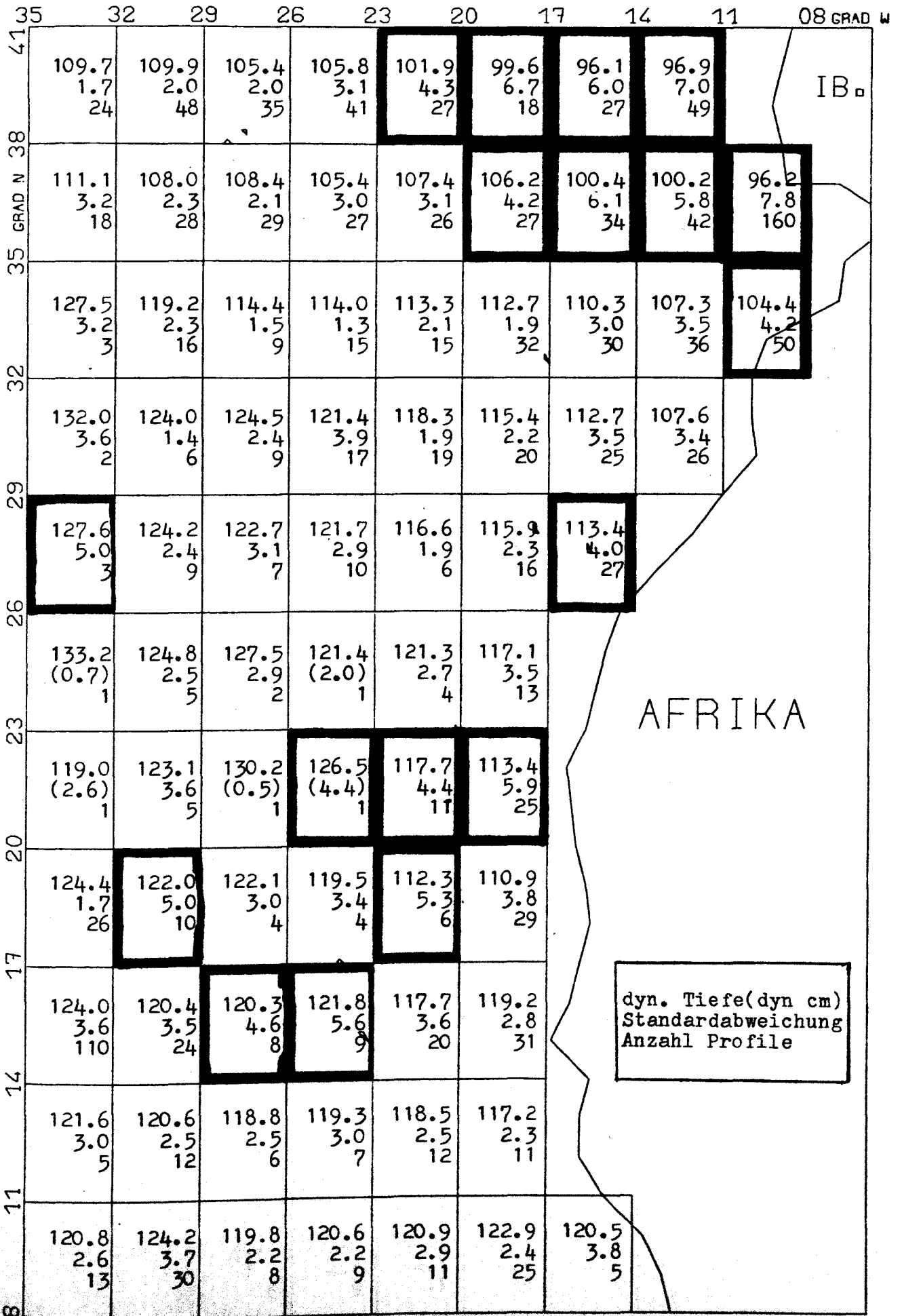


Abb.15 0/1000 db, Sigma-TS-dynamische Topographie (Mittelwerte)

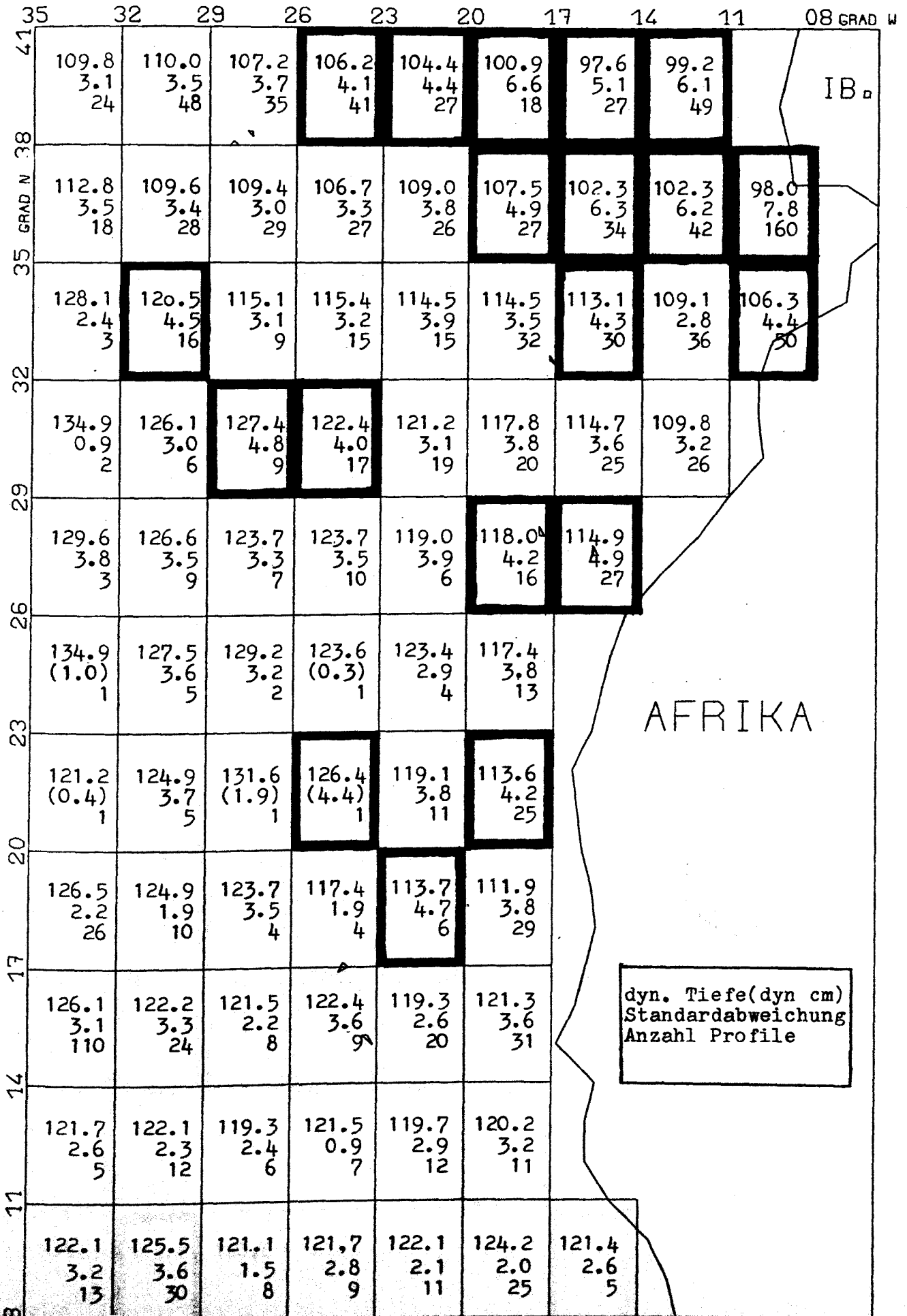
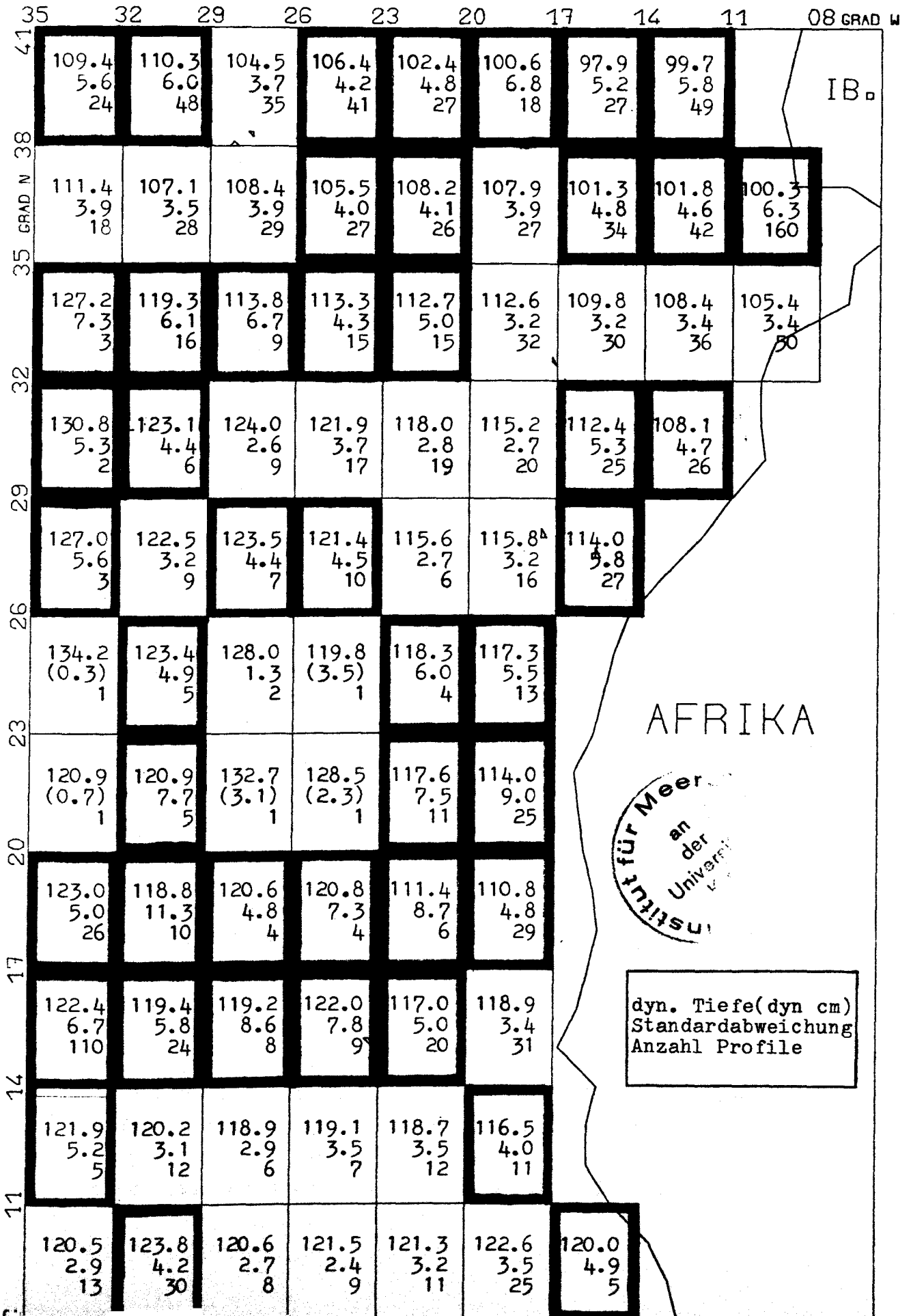


Abb.16 PS-dynamische Topographie (Mittelwerte), 0/1000 db



### 8.3 Bereich: 0 bis 2000 db

Abbildungen 17, 18 und 19 liefern die Ergebnisse für den Bereich 0 bis 2000 db. Schwarz umrandet sind hier Gebiete, deren mittlerer Fehler der Einzelwerte der gehärteten dynamischen Tiefe 5 dyn cm oder mehr beträgt.

In allen 3 Abbildungen ist der Einfluß des Mittelmeerwassers zu erkennen, das mit großen Salzgehaltsschwankungen über die Gibraltarschwelle in den Atlantik einströmt. Bedingt durch die obere Grenze der Berechnungen bei 0 Metern, müssen zwangsläufig alle Fehlerinflüsse, die für die Bereiche 0 bis 500 db und 0 bis 1000 db auftraten, auch hier wieder sichtbar werden.

Im Bereich 20 bis  $35^{\circ}$  N liefert die TS-dynamische Topographie (Abb. 17) noch am ehesten gute Ergebnisse. Fast alle Küstenstationen liegen außerhalb der Fehlergrenze. Der Einfluß des Mittelmeerwassers weitet sich gegenüber dem Bereich 0 bis 1000 db weiter nach Westen hin aus.

Südlich von  $26^{\circ}$  N sind die Ergebnisse der Sigma-TS-dynamischen Topographie (Abb. 18) mit den kleinsten Fehlerwerten behaftet. Hier ergeben sich zu große Werte hauptsächlich für Gebiete in Küstennähe, während westlich von  $23^{\circ}$  W die Ergebnisse außer in einem Gebiet unterhalb der Fehlergrenze liegen. Nördlich von  $26^{\circ}$  N sind die Sigma-TS-dynamischen Topographien schlechtere Näherungen als die TS-dynamischen Topographien und weitgehend unbrauchbar.

Die Ergebnisse der PS-dynamischen Topographie (Abb. 19) sind bis auf wenige Gebiete unbrauchbar. Ergebnisse unterhalb der Fehlergrenze von 5 dyn cm findet man noch am ehesten im offenen Atlantik westlich von  $23^{\circ}$  Grad westlicher Länge.

Bei Kombination der drei Näherungsmethoden ergeben sich 23 Gebiete, in denen kein Wert existiert, der kleiner als 5 dyn cm ist. Neben 4 Gebieten, die keine brauchbare Messung beinhalten, enthalten 26 weitere Gebiete nur eine oder zwei Messungen, so daß diese 30 Gebiete keine

statistische Absicherung aufweisen können. Nur 8 Gebiete, die alle nördlich von  $26^{\circ}$  Nord liegen, haben 5 oder mehr Profile aufzuweisen und einen mittleren Fehler der Einzelwerte, der kleiner als 5 dyn cm ist.

Für den Bereich 0 bis 2000 db kann nicht mehr flächenabdeckend mit den Näherungsmethoden gearbeitet werden. Ursachen hierfür sind zum einen die Aufsummierung der Fehler mit Erweiterung des unteren Referenzniveaus zu größeren Tiefen hin, zum zweiten die starke Abnahme der Anzahl vorhandener brauchbarer Profile bei zunehmender Tiefe.

Am ehesten scheinen die Näherungsmethoden im offenen Atlantik sinnvolle Ergebnisse zu liefern. In dem Rechteck 8 bis  $35^{\circ}$  N, 23 bis  $35^{\circ}$  W liegen bei Kombination der drei Methoden nur 2 Gebiete oberhalb der gesetzten Fehlergrenze. Allerdings beinhalten 3 weitere Gebiete keine Messung und 13 Gebiete enthalten nur eine Messung, sodaß für eine sichere Aussage über die Möglichkeit der Näherung zu wenig Informationen vorliegen.

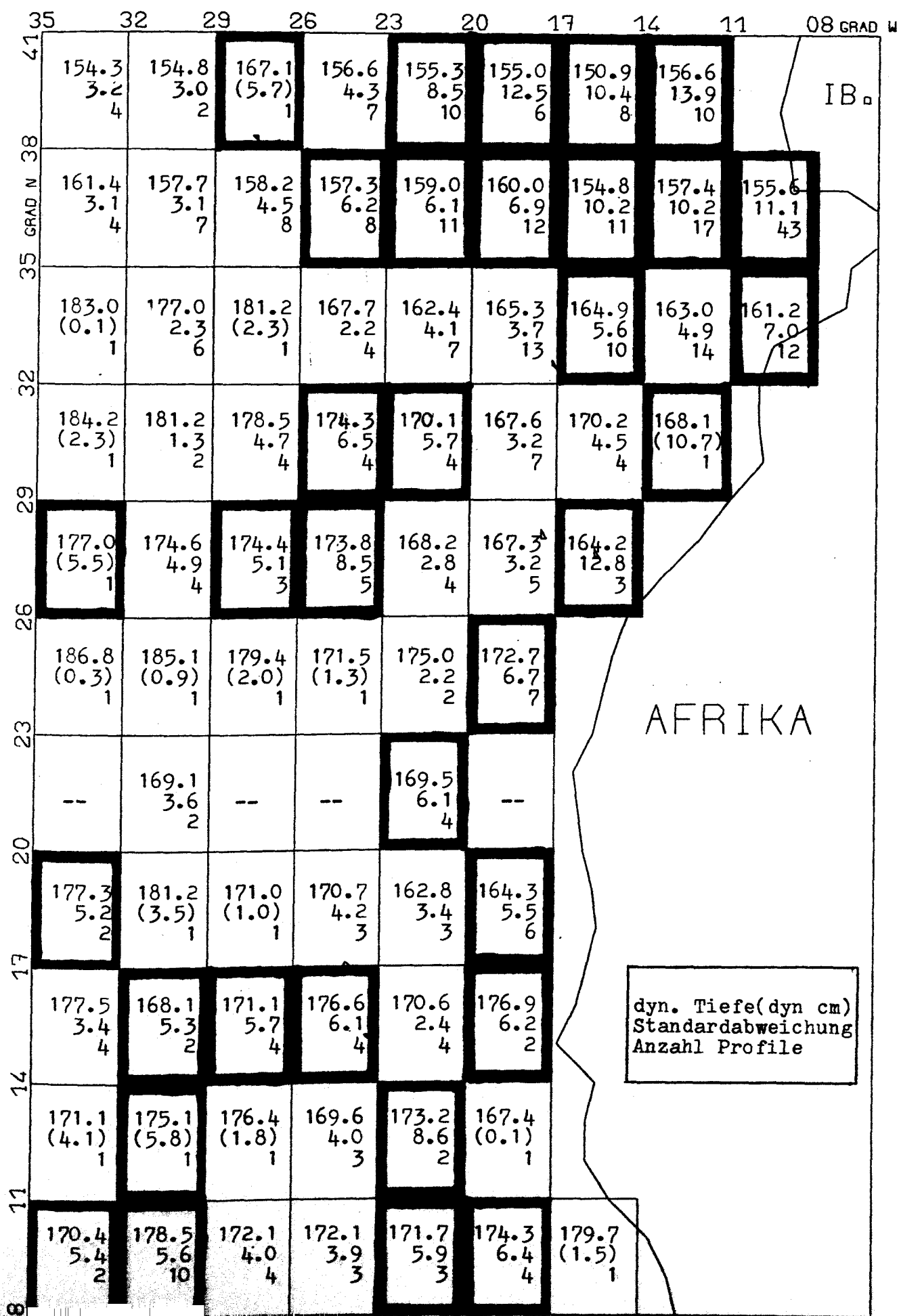




Abb.18 0/2000 db, Sigma-TS-dynamische Topographie (Mittelwerte)

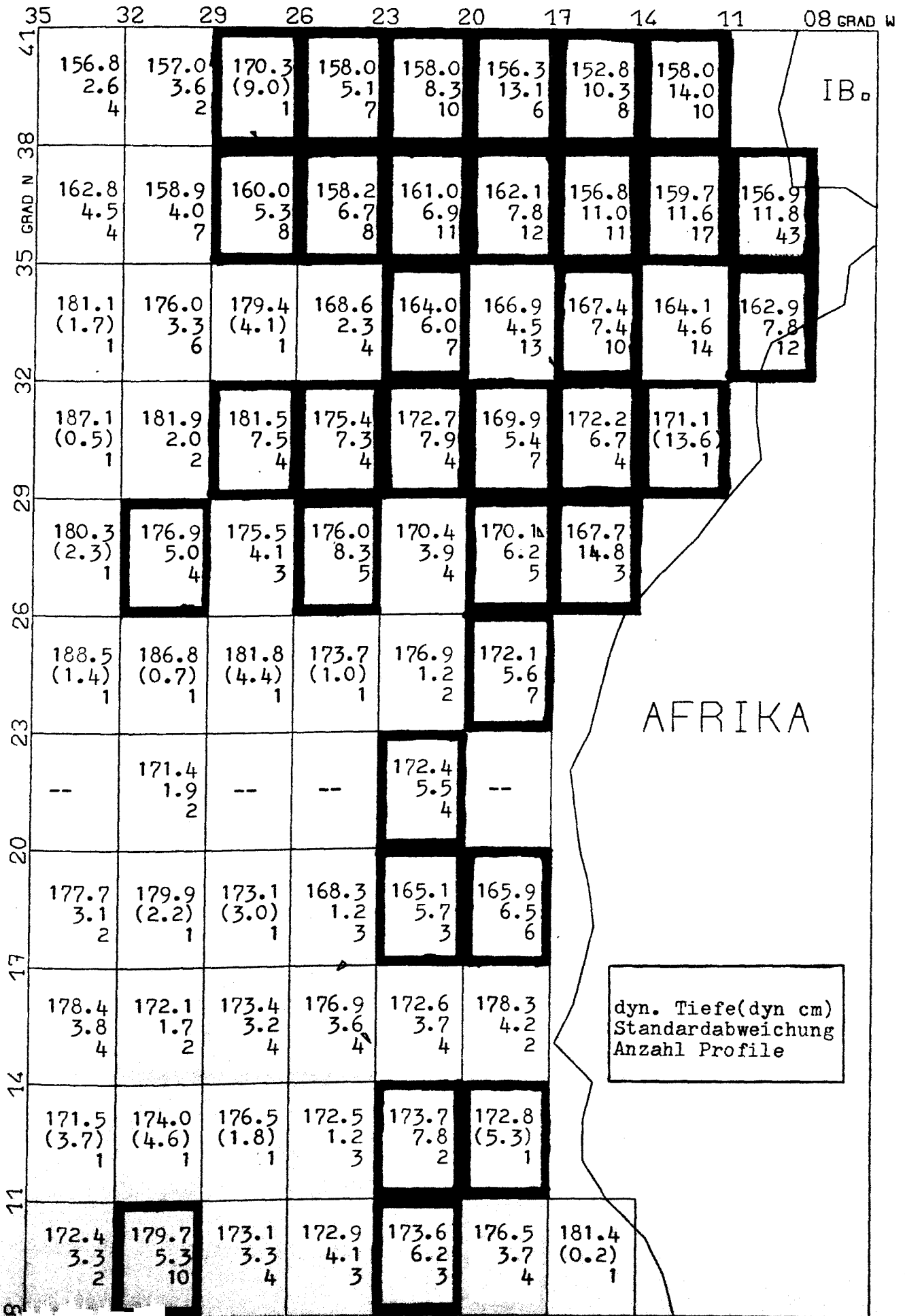
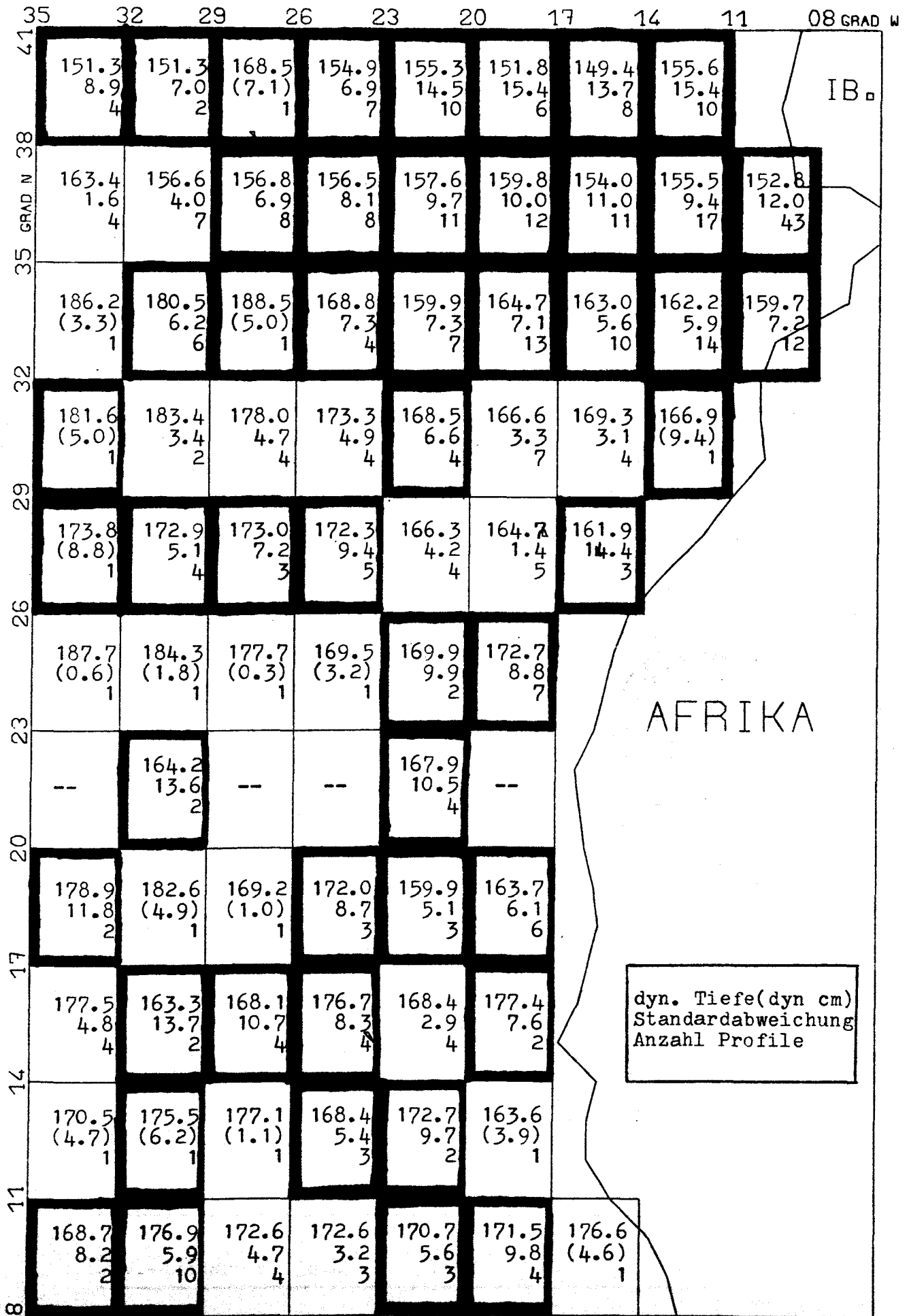


Abb.19 0/2000 db, PS-dynamische Topographie (Mittelwerte)



## 9. Untersuchung jahreszeitlicher Einflüsse

Im nördlichen Teil des Untersuchungsgebietes existiert ein großer Jahresgang der Oberflächentemperatur, so daß zu überprüfen ist, ob eine Aufspaltung der Rechnungen nach Jahreszeiten den Fehler verringern kann. Da die Aufspaltung nach Jahreszeiten eine Vierteilung der Menge der vorhandenen Messungen eines Gebietes bedeutet, wurden nur einige Quadrate mit einer großen Anzahl von Profilen für diese Untersuchungen ausgewählt. Für die Monate Februar bis April, Mai bis Juli, August bis Oktober und November bis Januar wurden jeweils eine mittlere TS- und eine mittlere PS-Kurve berechnet. Abbildung 20 zeigt die gemittelten TS-Kurven für das Testgebiet  $39-42^{\circ}$  N,  $20-23^{\circ}$  W für das gesamte Jahr und für die einzelnen Jahreszeiten. Deutlich zu erkennen ist der Temperaturanstieg bis zu den Herbstmonaten und der Abfall im Winter und im Frühjahr. Die 4 Kurven für die jahreszeitlichen PS-Kurven haben alle annähernd dasselbe Aussehen. Die Ergebnisse für 0 bis 500 db sind in Tabelle 1 für dieses Gebiet ( $39-42^{\circ}$  N,  $20-23^{\circ}$  W) aufgelistet. RMS-TS und RMS-PS sind die mittleren Fehler der Einzelwerte.

Tabelle 1

Zeit	D (dyn cm)	RMS-TS (dyn cm)	RMS-PS (dyn cm)	Anzahl
Jahr	60.8	1.3	2.3	44
Febr.-April	56.9	0.9	1.6	10
Mai-Juli	60.9	0.9	1.9	16
Aug.-Okt.	63.3	1.8	3.2	16
Nov.-Januar	58.4	0.4	0.7	2

Während sich für den Winter und den Sommer kleinere Fehler ergeben, ist der Fehlerwert im Herbst größer als der Mittelwert aus einer mittleren jährlichen Kurve, so daß sich der Fehler durch eine Aufspaltung für das gesamte Jahr nicht verringern läßt.

Als nächstes wurde das der südportugiesischen Küste vorgelagerte Gebiet  $35-38^{\circ}$  N,  $8-11^{\circ}$  W untersucht. Dieses Gebiet enthält eine große Anzahl von Messungen und wird unterhalb von 800 m Tiefe durch die starken Salzgehaltsschwankungen des Mittelmeerwassers beeinflusst. Daher wird bei der Aufspaltung nach Jahreszeiten für 0 bis 1000 db überprüft, ob dieses unregelmäßige Ausströmen eine jahreszeitliche Abhängigkeit hat. Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse dieses Gebietes für die Bereiche 0 bis 500 db und 0 bis 1000 db.

Tabelle 2 Gebiet  $35-38^{\circ}$  N,  $8-11^{\circ}$  W

Zeit	D (dyn cm)	RMS-TS (dyn cm)	RMS-PS (dyn cm)	Anzahl
0 bis 500 db:				
Jahr	59.5	3.4	2.7	214
Febr.-April	56.2	4.0	2.6	39
Mai-Juli	58.5	3.4	2.8	57
Aug.-Okt.	60.9	3.1	2.6	74
Nov.-Januar	61.4	3.9	1.6	44
0 bis 1000 db:				
Jahr	100.0	7.8	6.3	160
Febr.-April	95.6	7.9	5.9	31
Mai-Juli	98.7	7.9	6.7	41
Aug.-Okt.	102.0	7.7	6.4	52
Nov.-Januar	102.5	8.9	5.6	36

Für den Bereich 0 bis 500 db kann der Fehler wiederum nicht für jede Jahreszeit kleiner gehalten werden, als der mittlere Fehler bei einer jahreszeitlichen Kurve. Bei Betrachtung der Einzelergebnisse aus der mittleren jährlichen Kurve ergibt sich folgendes Verhalten: Messungen aus Monaten, die bei der Aufspaltung in Jahreszeiten im Mittel einen kleineren Fehlerwert, relativ zu den anderen Jahreszeiten, aufweisen, haben einen Fehlerbetrag der kleiner ist als der Fehlermittelwert der jährlichen Kurve, während Messungen aus Monaten, die bei der Aufspaltung in Jahreszeiten im Mittel einen größeren Fehlerwert aufweisen, einen Fehlerbetrag haben, der größer ist als der Mittelwert aus der jährlichen Kurve.

Für den Bereich 0 bis 1000 db zeigt das Ergebnis deutlich, daß keine jahreszeitliche Abhängigkeit in den Schwankungen des Mittelmeerausstroms zu erkennen ist, da sonst die Fehlerbeträge in den einzelnen Jahreszeiten kleiner werden müßten. Ein Versuch für den Bereich 0 bis 2000 db konnte ebenfalls kein positives Ergebnis liefern.

Untersuchungen der Gebiete  $35-38^{\circ}$  N,  $11-14^{\circ}$  W von 0 bis 500 db und  $38-41^{\circ}$  N,  $26-29^{\circ}$  W von 0 bis 1000 db hatten zum Ergebnis, daß eine oder höchstens 2 Jahreszeiten einen Fehlerwert aufwiesen, der kleiner war als der Jahresmittelwert. Eine Aufspaltung nach Jahreszeiten bietet im allgemeinen somit nicht die Möglichkeit, den erhaltenen Fehlerwert abzusenken. Da die Aufspaltung nach Jahreszeiten eine große Anzahl von Profilen erfordert, wäre sie in der gewählten Gebietsaufteilung beinahe ausschließlich in einigen nördlichen Quadranten realisierbar.

Für das im südlichen Teil des Untersuchungsgebietes liegende Quadrat  $14-17^{\circ}$  N,  $20-23^{\circ}$  W wurde eine Aufspaltung nach Jahreszeiten vorgenommen, da hier eine ausreichende Anzahl von Profilen vorhanden ist. Sowohl für

die TS- wie für die PS-Kurven waren die Fehler für die Monate Februar bis April kleiner als die jährlichen Fehlerbeträge, während in den restlichen 9 Monaten der Fehler größer war. Der Vorschub des salzreichen Wassers in der Dichtesprungschicht zeigt also keine jahreszeitliche Abhängigkeit in diesem Gebiet, da sonst die Fehlerbeträge in den einzelnen Jahreszeiten kleiner werden müßten.

Die Tiefe und der Betrag des Salzgehaltsmaximum in den vorhandenen Profilen des Gebietes  $17-20^{\circ}$  N,  $29-32^{\circ}$  W sind in Tabelle 3 aufgelistet.

Tabelle 3

<u>Zeit</u>	<u>z(m)</u>	<u>S(‰)</u>	<u>Zeit</u>	<u>z(m)</u>	<u>S(‰)</u>
Winter:			Sommer:		
1.1970	95	37.12	5.1959	92	37.07
1.1964	10-75	36.84	5.1972	80	36.87
Frühjahr:			6.1961	110	36.67
2.1952	71	36.56	Herbst:		
2.1952	47	36.39	8.1963	135	36.61
2.1952	93	36.97	8.1963	94	37.21
3.1927	125	36.88	9.1970	83	37.01
3.1927	100	36.89	9.1970	71	36.92
4.1969	78	36.92			

Für jede Jahreszeit sind große Schwankungen der Tiefenlage und des Betrages des Salzgehaltsmaximums ersichtlich, die die Fehlerbeträge für die genäherten dynamischen Topographien in dem Bereich  $14-26^{\circ}$  N vergrößern. Die beiden Messungen im August 1963 wurden von dem amerikanischen Schiff "Casco" am selben Tag vorgenommen. Die Messung mit dem Salzgehalt von 37.21‰ lag etwa 150 km nordwestlich der Messposition mit nur 36.61‰. Dies läßt auf starke räumliche Unterschiede schließen.

Aus den Tabellen 1 und 2 ist bei der dynamischen Tiefe deutlich ein Jahresgang zu erkennen, mit den höchsten Werten für die dynamische Tiefe im Winter. In Abbildung 21 ist der Jahresgang für das Gebiet  $35-38^{\circ}$  N,  $8-11^{\circ}$  W aufgezeigt. Die mittlere durchgezogene Linie ist der Jahresgang des Mittelwertes der wahren dynamischen Tiefe. Die obere durchgezogene Linie verbindet die Punkte der Maximalwerte der einzelnen Jahreszeiten, die untere Linie die Punkte der Minimalwerte der wahren dynamischen Tiefe der einzelnen Jahreszeiten. Die Kreuze bezeichnen die Mittelwerte der dynamischen Tiefe aus der gemittelten TS-Kurve in den einzelnen Jahreszeiten. Die gestrichelten Linien begrenzen den Bereich des mittleren Fehlers der Einzelwerte der TS-dynamischen Tiefe. In diesem Fall kann die TS-dynamische Tiefe den wahren Zustand gut beschreiben.

Abbildung 22 zeigt am Gebiet  $35-38^{\circ}$  N,  $8-11^{\circ}$  W von 0 bis 500 db die Grenze der TS-dynamischen Tiefe auf. Die Verschiebung der Mittelwerte der genäherten dynamischen Tiefe zu kleineren Werten hin ist ein Phänomen, das bei den Küstenstationen auftritt und dadurch verursacht wird, daß der Einfluß des Küstenwassers nicht genügend eliminiert werden konnte. Trotz der Verschiebung zu kleineren Werten hin, kann dieser Mittelwert den Jahresgang noch beschreiben. Der mittlere Fehler der Einzelwerte, der zwischen 3.1 und 4.0 dyn cm liegt, bleibt noch innerhalb des Bereiches der Extremwerte, nähert sich ihnen aber stark an. Somit kann hier ein mittlerer Fehler, der überhalb von 4 dyn cm liegt, bei der Beschreibung der wirklichen Verhältnisse kaum noch gute Ergebnisse liefern.

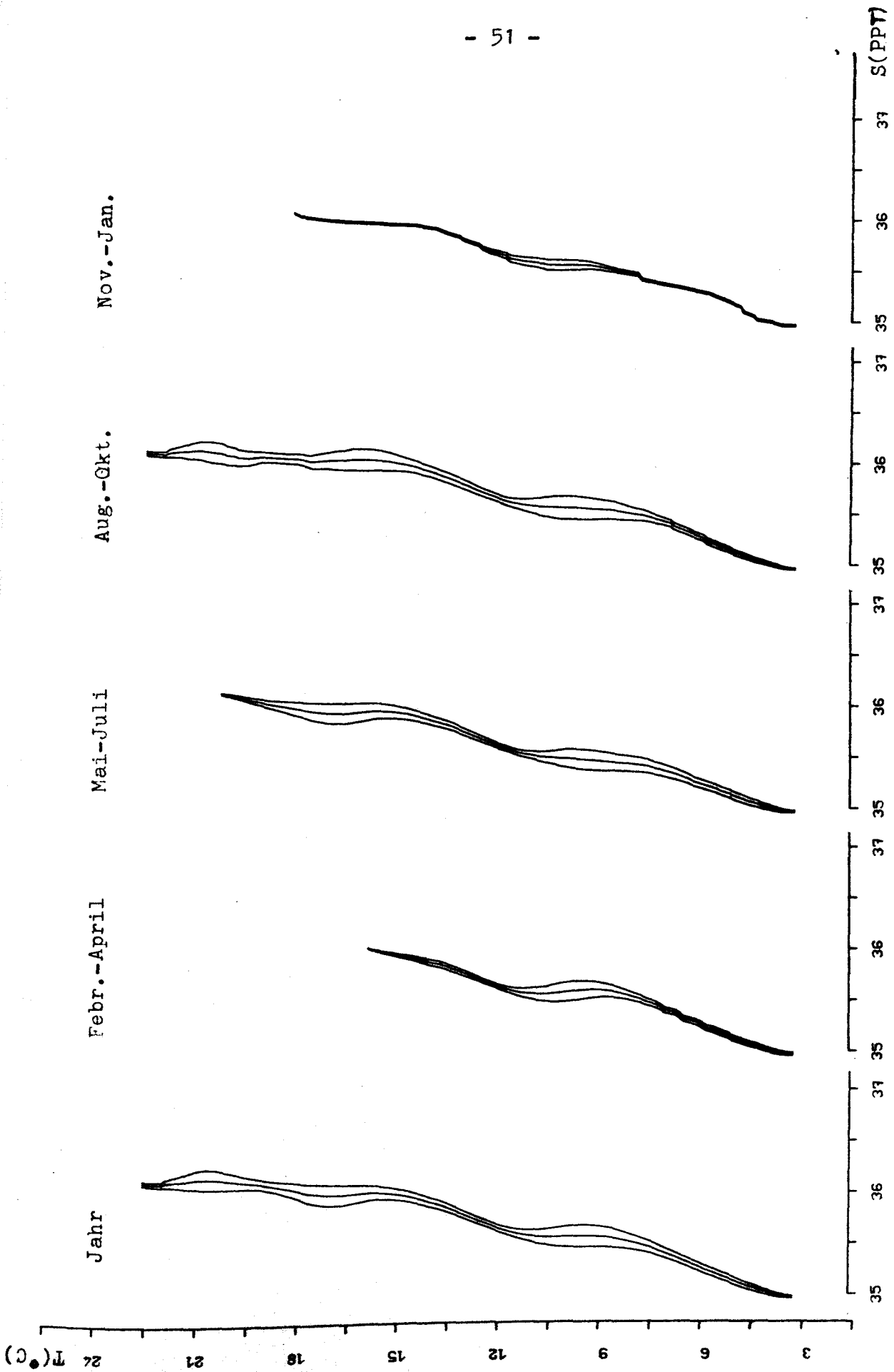
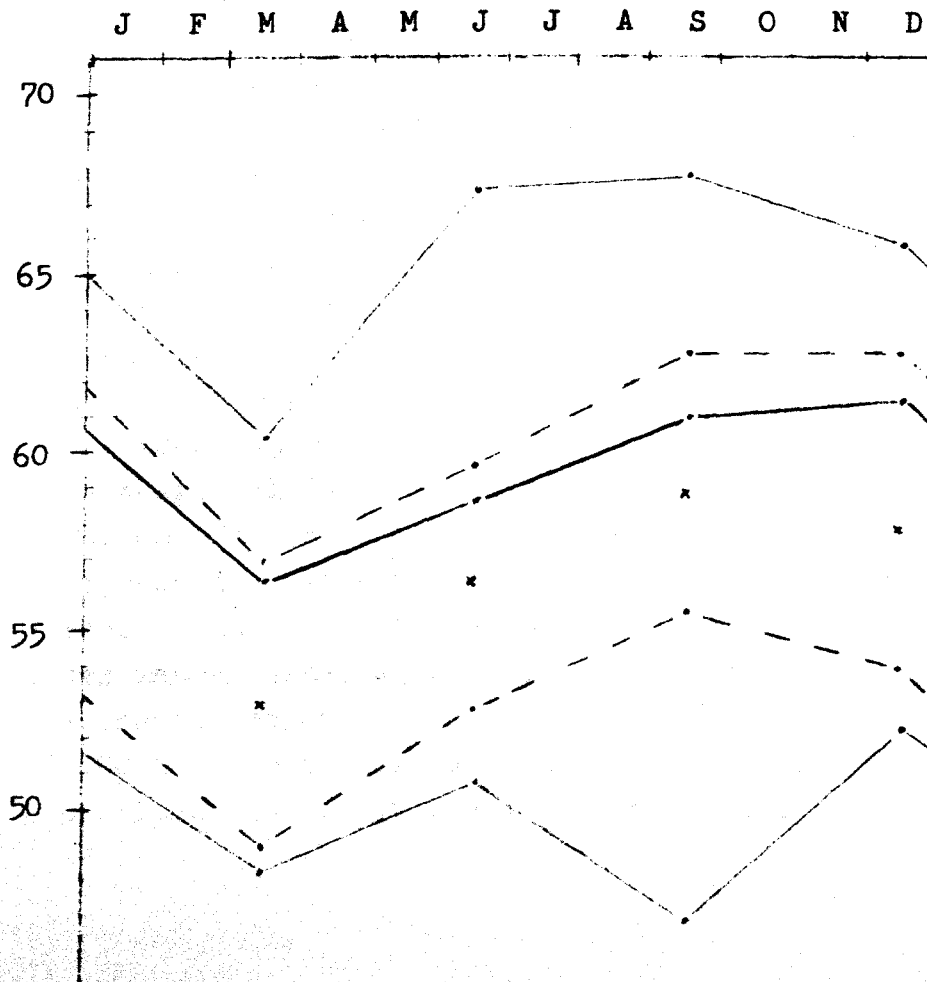
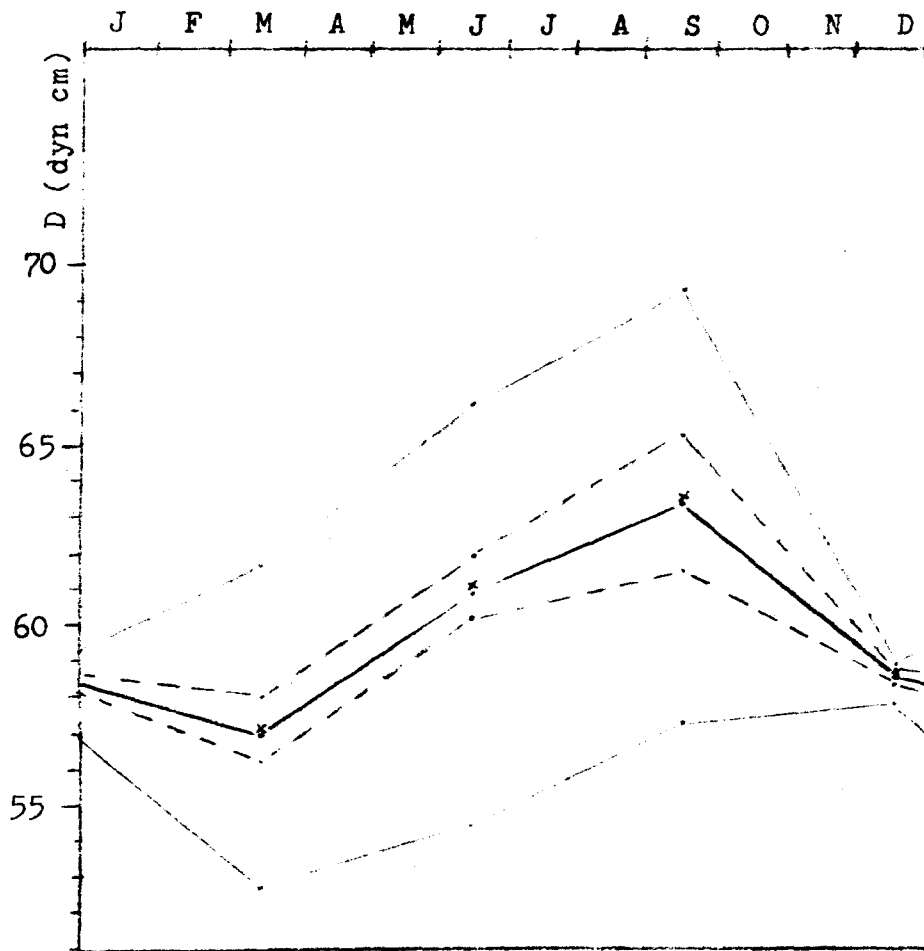


Abb. 20 Gebiet: 39-42°N, 20-23°W, Aufspaltung in Jahreszeiten der mittleren TS-Kurven und deren Standardabweichungen





#### 10. Fehlerbereiche bei Berechnung der Dichteanomalien und der Strömung aus der Temperatur

In den Ergebnissen zeigte sich, daß mit zunehmender Tiefe des Referenzniveaus die Genauigkeit der Rechenmethode mit gemittelten Kurven abnimmt. Es wurden Häufigkeitsverteilungen für die Differenz zwischen der wahren dynamischen Tiefe und der TS-dynamischen Tiefe (D-DTS), sowie für die Differenz zu den Werten der PS-dynamischen Tiefe (D-DPS) gezeichnet. In der Häufigkeitsverteilung (Abb. 23) dokumentiert sich dies durch die Ausweitung der Kurve zu höheren Differenzwerten bei zunehmender Tiefe. Die Ausweitung in diesem Gebiet  $32-35^{\circ}$  N,  $8-11^{\circ}$  W steht bereits unter dem Einfluß des Mittelmeerwassers, der hier ab 800 Meter Tiefe spürbar ist, jedoch nicht so starke Salzgehaltsschwankungen zeigt, wie die Gebiete westlich der südportugiesischen Küste.

Die Häufigkeitsverteilung für das Gebiet  $35-38^{\circ}$  N,  $11-14^{\circ}$  W für die Bereiche 0 bis 500 db und 0 bis 2000 db verdeutlicht den Einfluß der starken Schwankungen im Bereich des Mittelmeerwassers. Während die Kurven für den Bereich 0 bis 500 db große Häufigkeiten im Bereich des Nullpunktes aufweisen, zeigen die Kurven für den Bereich 0 bis 2000 db das Bestreben, den Fehlerbereich zu größeren Werten hin auszudehnen und das Häufigkeitsmaximum am Nullpunkt zu schwächen wie bei der D-DPS Verteilung oder es wie bei der D-DTS Verteilung ganz abzubauen. Das heißt mit zunehmender Tiefe wird der Exzess immer negativer (Flachgipflig).

Für den Bereich 0 bis 500 m und für 0 bis 1000 m Tiefe stimmen die Mittelwerte der dynamischen Topographie, berechnet aus den gemittelten Kurven, mit den Mittelwerten der wahren dynamischen Topographie weitgehend überein. Ausnahmen ergeben sich für einige Küstenstationen und bei 1000 m Tiefe für das Gebiet mit dem Mittelmeereinstrom westlich von Südportugal. Für den Bereich 0 bis 2000 m

Tiefe existieren dagegen recht große Abweichungen. Dies dokumentiert sich in den Abbildungen 25, 26 und 27, in denen versucht wurde, die dynamische Topographie für die wahren Werte in durchgezogenen Linien und für die TS-genäherten Werte in gestrichelten Linien für die drei Tiefenstufen 0 bis 500 m, 0 bis 1000 m und 0 bis 2000 m darzustellen. Südlich von  $20^{\circ}$  N gibt es kein eindeutiges Verhalten mehr, da die Strömungsverhältnisse jahreszeitlichen Änderungen unterliegen. Die Messungen wurden ohne Berücksichtigung der Jahreszeiten in den Rechnungen verarbeitet, und je nach Häufigkeit der Messungen in den verschiedenen Jahreszeiten ergeben sich unterschiedliche Ergebnisse. Da auch in den nördlichen Gebieten ein Jahresgang der dynamischen Tiefe vorhanden ist (Abb. 21), muß man sich immer darüber im klaren sein, daß alle Werte einem jahreszeitlichen Einfluß unterliegen können und die Abbildungen 25 bis 27 nicht den wahren Zustand beschreiben müssen. Um die wahren Verhältnisse der dynamischen Topographie darzustellen, müßte eine Wichtung vorgenommen werden, die den jahreszeitlichen Einfluß eliminiert. Für das Niveau 0 bis 500 m zeigt sich eine gute Übereinstimmung zwischen den Mittelwerten der wahren und der TS-dynamischen Topographie (Abb. 25). Bei 0 bis 1000 m Tiefe bestätigt sich das Ergebnis, daß die Werte außer im Bereich vor Südwestportugal und in einigen Küstenstationen gute Übereinstimmung zeigen (Abb. 26). Für den Bereich 0 bis 2000 m (Abb. 27) können die Mittelwerte der genäherten TS-dynamischen Topographien die Ergebnisse der wahren dynamischen Topographie nur schlecht nähern. Die Kurven in Abbildung 27 haben recht unterschiedliche Lagen und bestätigen das Ergebnis, daß die Berechnung aus mittleren Kurven für den Bereich 0 bis 2000 m nicht mehr sinnvoll ist.

Im stetig geschichteten Meer lassen sich die Unterschiede der Stromgeschwindigkeiten ( $v_1-v_2$ ) zwischen zwei isoba-

ren Flächen nach der Formel  $v_1 - v_2 = ((10(\Delta D_B - \Delta D_A)) / L^2 w \sin \varphi)$  berechnen. Dabei sind  $\Delta D_B$  und  $\Delta D_A$  die Anomalien der dynamischen Topographie an zwei Stationen B und A, L ist die Entfernung zwischen den beiden Stationen, w ist die Winkelgeschwindigkeit der Erdrotation und  $\varphi$  ist die geographische Breite.

Der absolute Fehler in der Berechnung der Strömungsgeschwindigkeit ist abhängig vom Fehler in den Berechnungen der Differenz der dynamischen Topographien  $\Delta D$  und vom Meßfehler der Entfernung L:

$$d(v_1 - v_2) = \frac{d\Delta D}{2wL \sin \varphi} + \frac{\Delta D}{2wL^2 \sin \varphi} dL$$

Der zweite Term ist vernachlässigbar klein gegenüber dem ersten (Fomin 1964). Da der Fehler bei der Berechnung der dynamischen Topographie linear mit der Tiefe zunimmt (Kap. 6.4), wächst der Fehler bei der Berechnung der Strömungsgeschwindigkeit mit zunehmender Tiefe an. Weiterhin nimmt er zu mit abnehmender geographischer Breite und abnehmender Entfernung zwischen den beiden Stationen.

Fomin (1964) kommt zu dem Ergebnis, daß bedingt durch den Fehler bei der Messung der physikalischen Größen für die Berechnung der dynamischen Topographie, die Forderung eines relativen Fehlers bei Berechnung der Strömungsgeschwindigkeitsdifferenzen von weniger als 50% in Gebieten mit mittleren und starken Strömungsgeschwindigkeiten erreicht wird, nicht aber in Regionen mit schwachen Strömungen. Zudem sollte selbst bei stärkeren Strömungen das untere Referenzniveau nicht 3000 m Tiefe überschreiten, da auch dann der relative Fehler über 50% beträgt.

Der Fehler bei Berechnung der Strömungsgeschwindigkeiten schwankt in dem gesamten Untersuchungsgebiet bei den Werten der wahren dynamischen Topographie aufgrund der

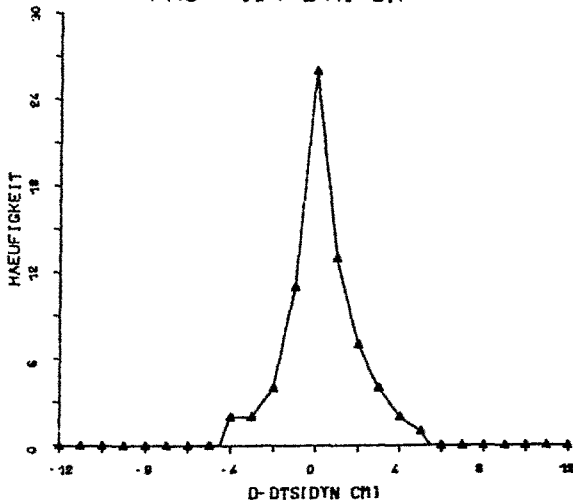
Bestimmungsfehler von T, S und P für 0 bis 500 m Tiefe zwischen 8 und über 200%, für 0 bis 1000 m Tiefe zwischen 13 und über 200% und für 0 bis 2000 m Tiefe ergeben sich Werte überhalb von 20%. Somit treten bereits bei der Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeiten aus der wahren dynamischen Topographie große Fehlerintervalle auf.

Betrachtet man bei der TS-dynamischen Topographie die Mittelwerte der dynamischen Tiefe benachbarter Gebiete, so ergeben sich bei Berücksichtigung der mittleren Fehler der Einzelwerte dieser Gebiete für 0 bis 500 m Tiefe bei der Geschwindigkeitsberechnung Fehlerbereiche von 10% bis zu mehreren hundert Prozent, für 0 bis 1000 m Tiefe Fehler über 28% und für 0 bis 2000 m Tiefe Fehlerwerte von mehr als 15%. Dieser Fehler ist also bedingt durch den mittleren Fehler der Einzelwerte der dynamischen Topographie unter Verwendung der Näherungsmethode. Die kleinsten Fehlerbeträge liegen in Bereichen mit großen Unterschieden der benachbarten Stationen im Mittelwert der TS-dynamischen Topographie.

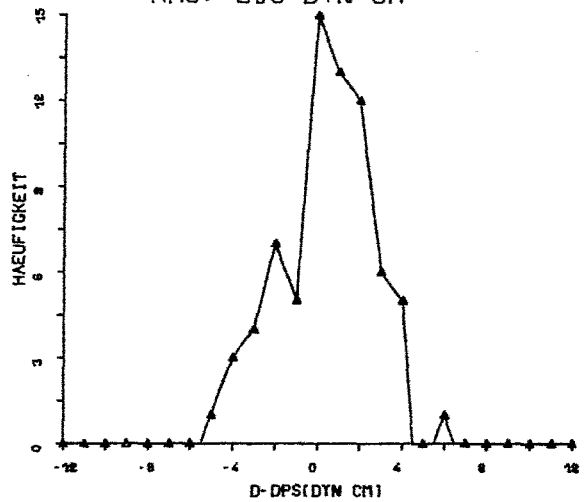
Somit ergibt sich für die Geschwindigkeitsoberrechnung aus der TS-dynamischen Topographie das gleiche Ergebnis wie bei der wahren dynamischen Topographie, daß sinnvolle Werte mit einem relativen Fehler von weniger als 50% nur in Gebieten mit starken und mittleren Strömungsgeschwindigkeiten möglich sind. Die Fehlerbeträge der Geschwindigkeitsberechnung bei der Näherung liegen etwa in der gleichen Größenordnung wie die Fehler, die sich bei der Berechnung aus den wahren dynamischen Topographien ergeben. Die gute Übereinstimmung der Ergebnisse der beiden Berechnungsarten sind in den Abbildungen 25 und 26 ersichtlich. Daraus folgt, daß die Näherungsmethode zur Strömungsbestimmung herangezogen werden kann, wobei der zu erwartende Fehler sich in der Größenordnung des Fehlers der Rechnungen mit den wahren Werten ergeben müßte.

Abb.23 Häufigkeitsverteilungen

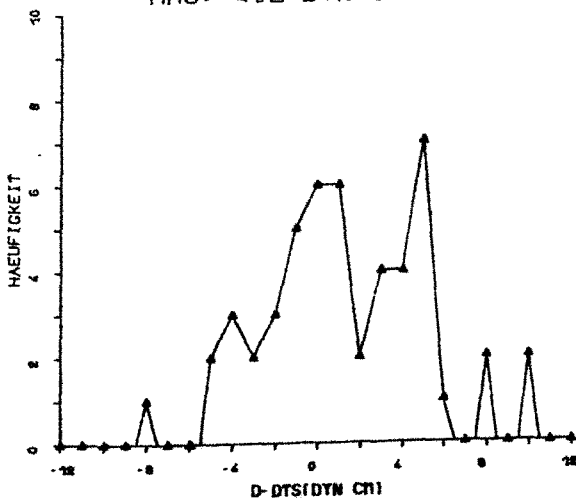
REFERENZNIVEAU: 0/500 DB  
GEBIET: 32-35 N, 8-11 W  
STATIONEN: 72  
RMS: 1.7 DYN CM



REFERENZNIVEAU: 0/500 DB  
GEBIET: 32-35 N, 8-11 W  
STATIONEN: 72  
RMS: 2.3 DYN CM



REFERENZNIVEAU: 0/1000 DB  
GEBIET: 32-35 N, 8-11 W  
STATIONEN: 50  
RMS: 4.2 DYN CM



REFERENZNIVEAU: 0/1000 DB  
GEBIET: 32-35 N, 8-11 W  
STATIONEN: 50  
RMS: 3.4 DYN CM

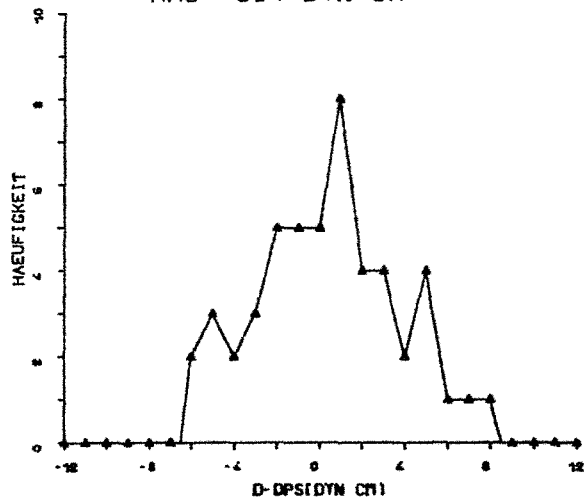
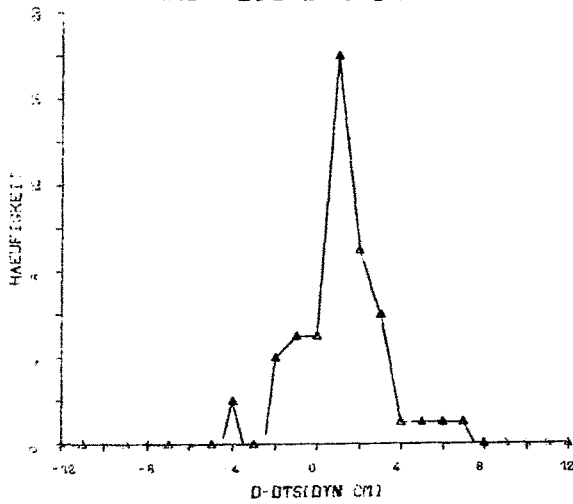
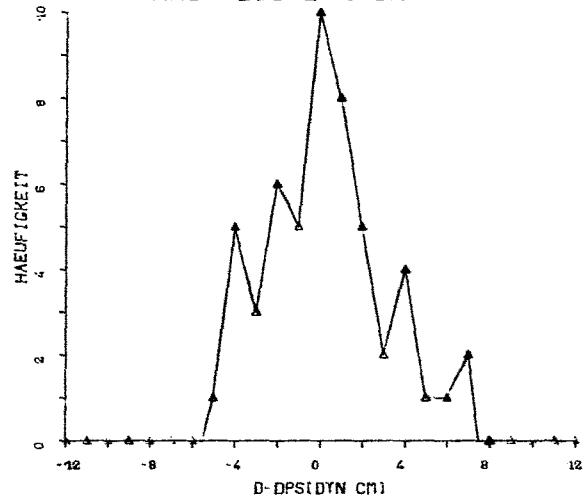


Abb.24 Häufigkeitsverteilungen

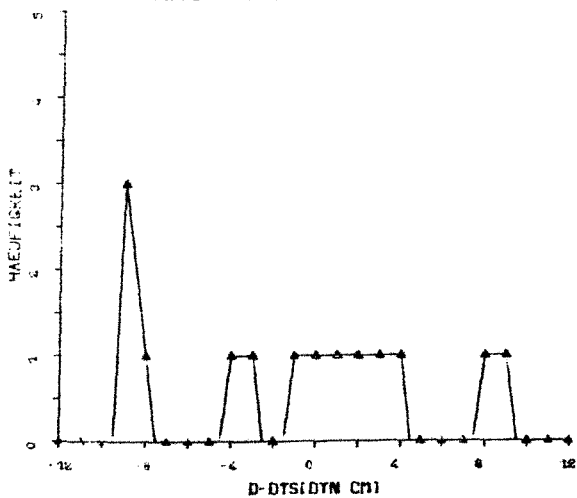
REFERENZNIVEAU: 0/500 DB  
GEBIET: 35-38 N, 11-14 W  
STATIONEN: 53  
RMS: 2.3 DYN CM



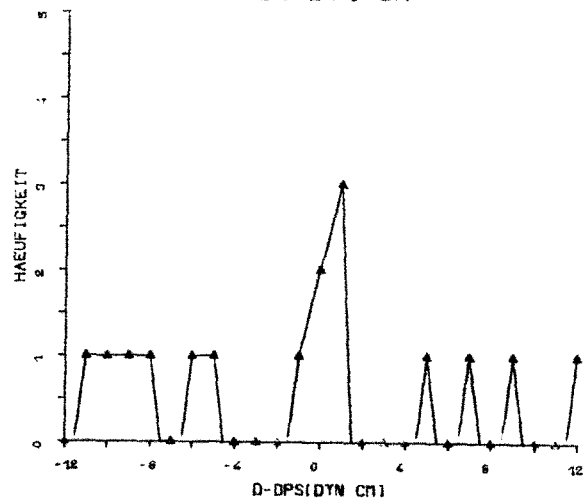
REFERENZNIVEAU: 0/500 DB  
GEBIET: 35-38 N, 11-14 W  
STATIONEN: 53  
RMS: 2.8 DYN CM

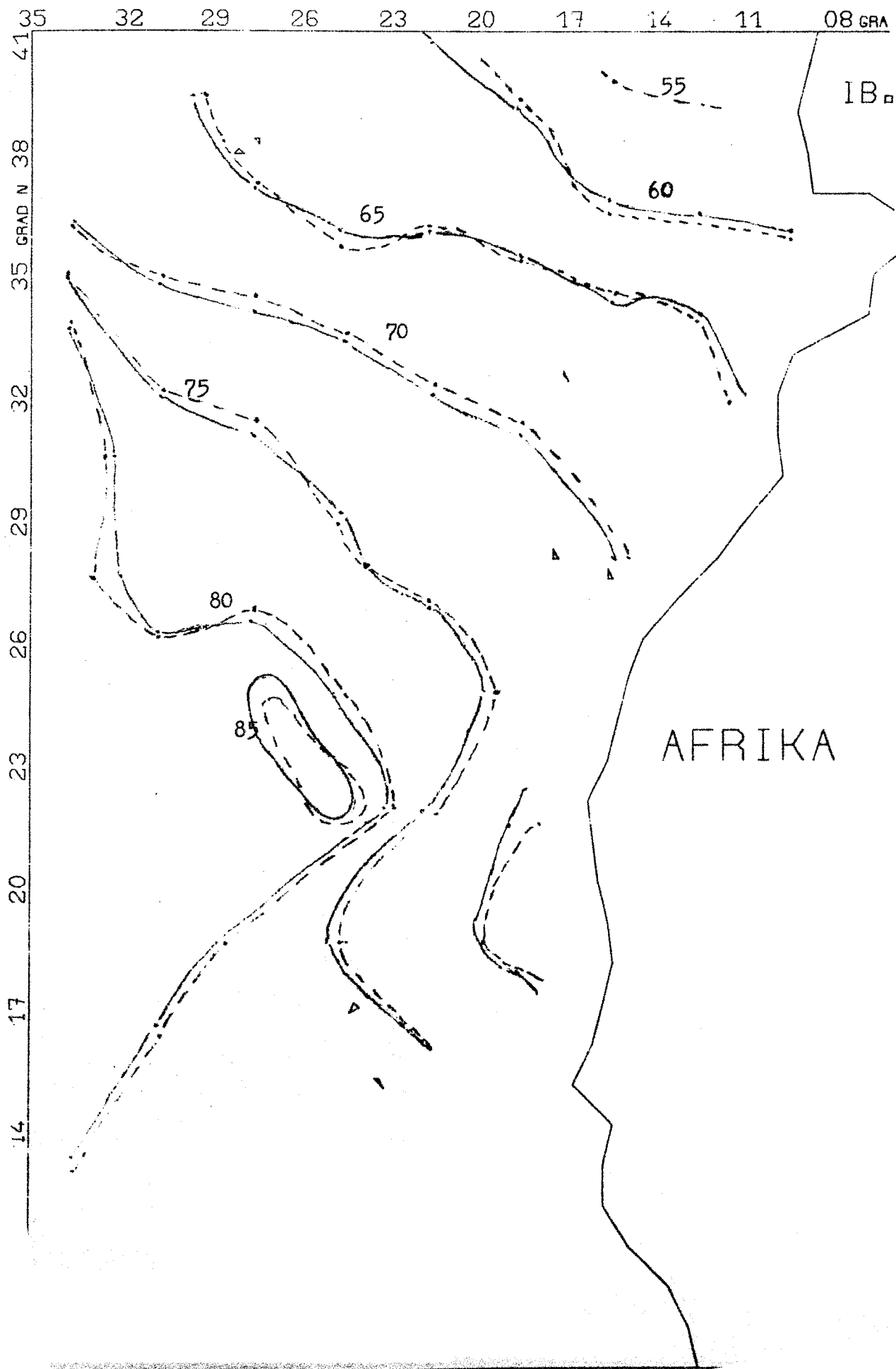


REFERENZNIVEAU: 0/2000 DB  
GEBIET: 35-38 N, 11-14 W  
STATIONEN: 17  
RMS: 10.2 DYN CM

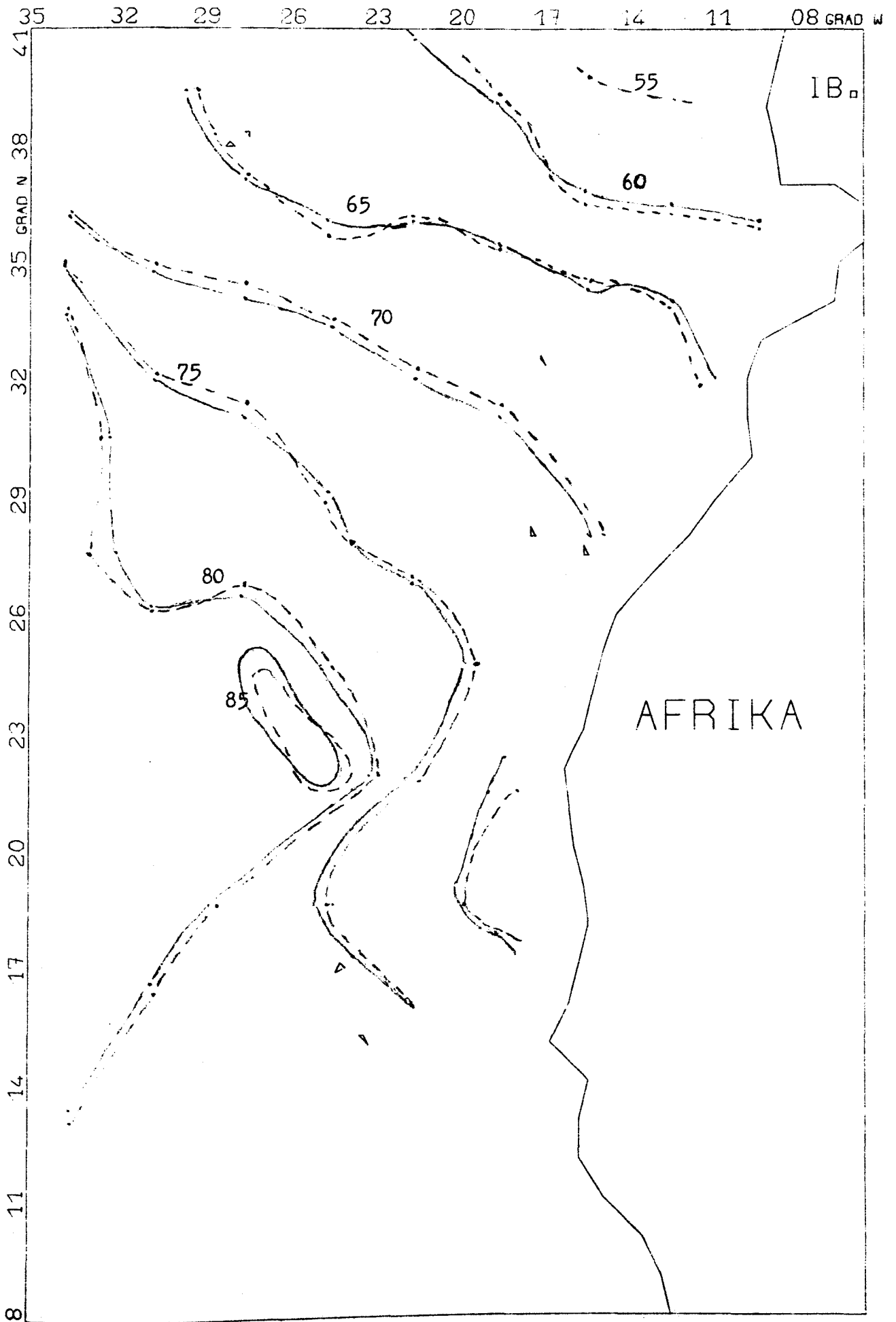


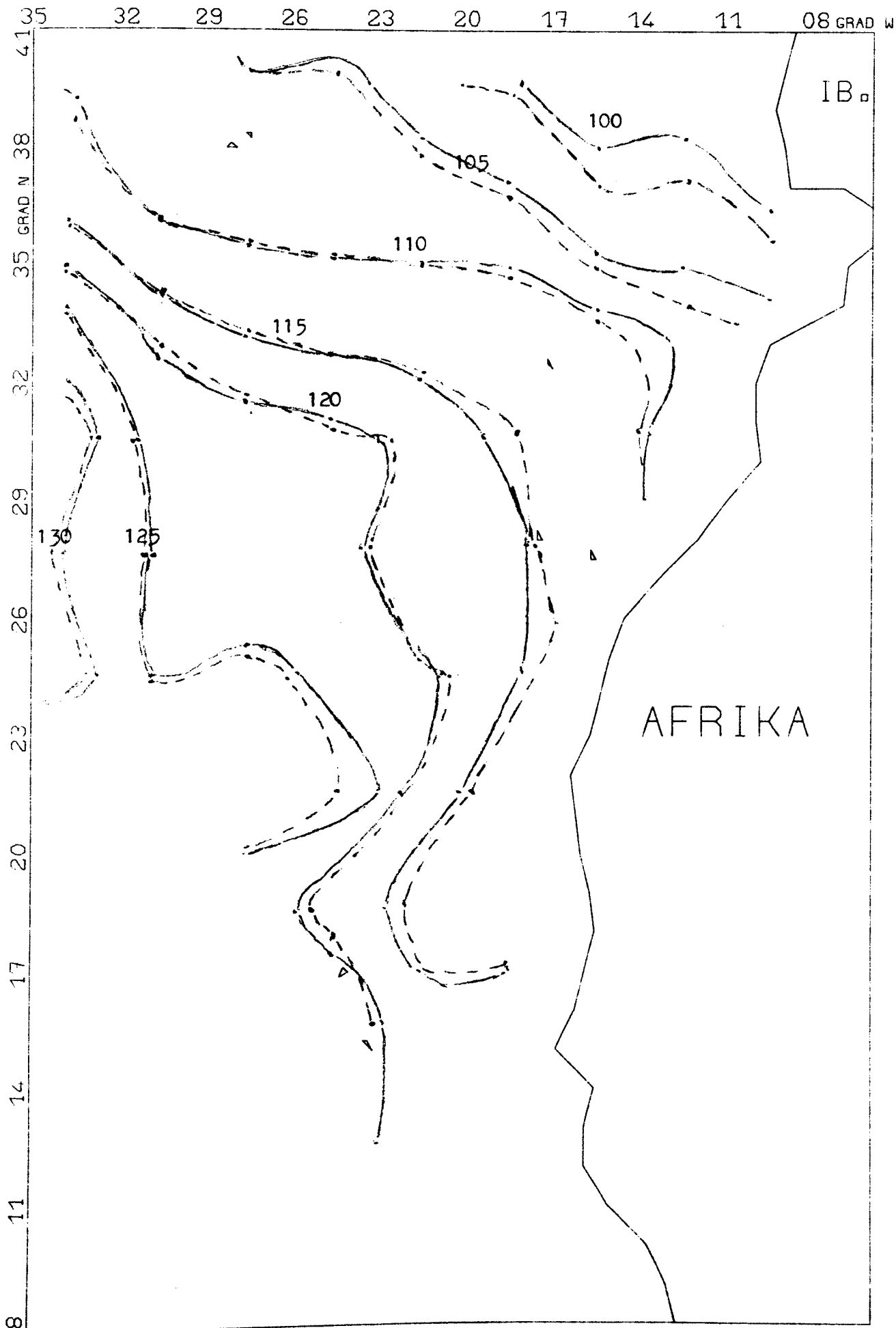
REFERENZNIVEAU: 0/2000 DB  
GEBIET: 35-38 N, 11-14 W  
STATIONEN: 17  
RMS: 9.4 DYN CM











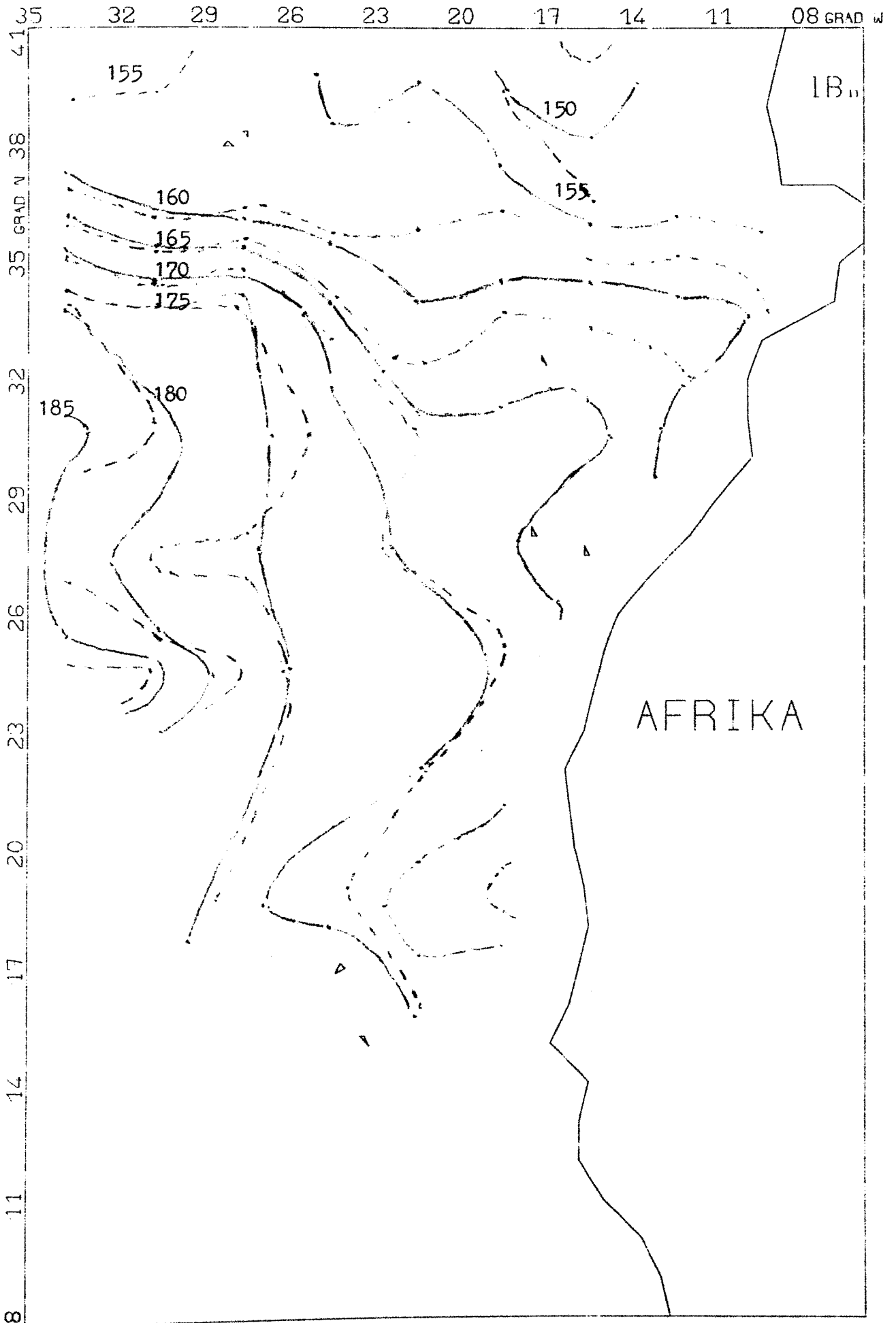


Abb. 26 0/2000 db dynamische Topographie in dyr cm

## 11. Zusammenfassung der Ergebnisse

Für den Bereich 0 bis 500 m und für 0 bis 1000 m Tiefe ist die Annahme sinnvoll, daß die dynamische Topographie aus Temperatur und Druck allein berechnet und der Salzgehalt als Funktion einer dieser beiden Größen dargestellt werden kann. Hierbei zeigt vor allem der Formalismus mit einer mittleren TS-Kurve gute Ergebnisse. Bei 0 bis 500 m Tiefe läßt sich im gesamten untersuchten Gebiet die dynamische Topographie aus den genäherten Kurven berechnen; bei 0 bis 1000 m Tiefe das gesamte Gebiet mit Ausnahme der Quadrate westlich von Südportugal und einiger Küstenstationen. Für den Bereich 0 bis 2000 m Tiefe scheint die Berechnung mit Hilfe von Näherungen großräumig nicht mehr sinnvoll zu sein.

Nördlich von  $23^{\circ}$  N sind die berechneten mittleren Fehler der Einzelwerte im allgemeinen kleiner als südlich von  $23^{\circ}$  N. Ursache ist das zwischen  $10$  und  $23^{\circ}$  N auftretende Salzgehaltsmaximum in der Sprungschicht. Dieses Salzgehaltsmaximum zeigt starke Schwankungen im Salzgehaltsbetrag und in der Tiefenlage des Maximums. Diese Schwankungen kann man mit Hilfe der gemittelten TS-Kurve nicht beschreiben. In diesem Gebiet zwischen  $10$  und  $23^{\circ}$  N waren die Ergebnisse der dynamischen Topographie aus der mittleren TS- bzw. PS-Kurve teilweise ungenauere Näherungen als Berechnungen, bei denen zwischen 80 und 350 m Tiefe die Werte aus einer mittleren Dichtekurve in die Rechnung eingingen, während darunter und darüber die Werte aus der mittleren TS-Kurve übernommen wurden. Die mittleren TS- bzw. PS-Kurven sind ebenfalls nicht in der Lage, die Salzgehaltsschwankungen im Mittelmeerausstrom zu beschreiben, deren Änderungen besonders groß sind in der Nähe der Gibraltarschwelle. Mit zunehmender Entfernung von der Gibraltarschwelle vermischt sich das Mittelmeerwasser, und die Schwankungen werden so gering, daß sie durch die mittleren Kurven angenähert und dargestellt werden können.

Eine Aufspaltung in Jahreszeiten kann die berechneten mittleren Fehler der Einzelwerte der genäherten dynamischen Tiefe im allgemeinen nicht herabsenken. Es existiert in den untersuchten Gebieten immer mindestens eine Jahreszeit, deren Fehlergröße überhalb des Fehlers einer mittleren jährlichen Kurve liegt.

Bereits bei der Berechnung der relativen Strömungsgeschwindigkeiten aus den wahren dynamischen Topographien treten große Fehlerintervalle auf, wobei die kleinsten Fehler in Gebieten mit relativ starken Strömungen liegen. Bei der Berechnung der Strömungsgeschwindigkeit aus der TS-dynamischen Topographie ergibt sich ein zusätzlicher Fehler durch die Abweichung der Näherung vom wahren Wert. Dieser Fehler zeigt ebenfalls das Verhalten, daß er in Gebieten mit stärkerer Strömung mit 10 bis 50% relativ klein ist, während er in den anderen Gebieten auf mehrere hundert Prozent anwachsen kann. Aufgrund der Tatsache, daß die Fehler bei der Berechnung der Strömungsgeschwindigkeiten aus den Näherungen in der Größenordnung der Fehler der Rechnungen mit den wahren Werten liegen, erscheint die Verwendung der Näherungen zur Strömungsberechnung durchaus sinnvoll.

Literaturverzeichnis

Defant, A.

- 1938    Aufbau und Zirkulation des Atlantischen Ozeans.  
Sonderausgabe aus den Sitzungsberichten der  
preußischen Akademie der Wissenschaften, Phys.-  
math. Klasse 1938 XIV  
Verlag der Akademischen Wissenschaften Berlin

Defant, A.

- 1950    Reality and illusions in oceanographic surveys.  
Journal of Marine Research, Vol.9, p. 120-138

Dietrich, G.; Kalle, K.; Krauss, W.; Siedler, G.

- 1975    Allgemeine Meereskunde, 3. Auflage  
Gebr. Bornträger, Berlin, Stuttgart

Dietrich, G.; Ulrich, J.

- 1968    Atlas zur Ozeanographie  
Bibliographisches Institut, Mannheim

Emery, W. J.

- 1975    Dynamic height from temperature profiles  
Journal of physical oceanography, 5, p. 369-375

Emery, W. J.; Wert, R. T.

- 1976    Temperature-Salinity curves in the Pacific and  
their Application to Dynamic Height computations.  
Journal of physical oceanography, 6, p. 613-617

Emery, W. J.; Wert, R. T.

- 1976a    Mean TS-curves in the Pacific Ocean and their  
application to dynamic height computations.  
SIO-Ref. Ser. Scripps Inst. of Oceanogr., 76-6

Emery, W. J.; O'Brien, A.

- 1978    Inferring Salinity from Temperature or Depth for  
Dynamic Height Computation in the North Pacific.  
Atmosphere-ocean, 16, p. 348-366

Flierl, G. R.

- 1978 Correcting expendable bathythermograph (XBT) data for salinity effects to compute dynamic heights in Gulf Stream rings.  
Deep-Sea Research, 25, p. 129-134

Fomin, L. M.

- 1964 The dynamic method in oceanography.  
Elsevier Oceanographic Series Volume 2

Knoll, M.

- 1979 Zur Wärmebilanz der ozeanischen Deckschicht im GATE-Gebiet.  
Berichte aus dem Institut für Meereskunde an der Christian-Albrechts-Universität-Kiel, Nr. 68

Mittelstaedt, E.

- 1976 On the Currents along the Northwest African Coast South of  $22^{\circ}$  North.  
Deutsche Hydrographische Zeitschrift, Band 29, Heft 3, p. 97-117

Needler, G. T.; Heath, R. A.

- 1975 Diffusion Coefficients calculated from the Mediterranean Salinity Anomaly in the North Atlantic Ocean.  
Journal of physical oceanography, 5, p. 173-182

Sauer, R.; Szabo, J.

- 1970 Mathematische Hilfsmittel des Ingenieurs, Teil 3  
Springer Verlag Berlin

Stommel, H.

- 1947 Note on the use of the T-S correlation for dynamic height anomaly computations.  
Journal of Marine Research, 6, p. 85-92

Voituriez, B.; Herbland, A.

- 1980 Comparision of the coastal and open ocean upwelling ecosystem of the tropical eastern atlantic.  
Rapp. P.-V. R  un. Cons. int. Explor. Mer, 180  
im Druck

Yasui, M.

- 1955 On the rapid determination of the dynamic depth anomaly in the Kurochio area.  
Rec. Oceanogr. Works Jap. 2, No 2, 90-95

Yasui, M.

- 1957 On the rapid estimation of the dynamic topography in the seas adjacent to Japan.  
Rec. Oceanogr. Works Jap. 3, No 1, 8-15